无线电

1955年创刊 www.radio.com.cn 邮发代号：2-75 国外代号：M106

2009年合订本

下

《无线电》编辑部 编

本书附赠双光盘

《用可编程逻辑器件设计数字语音电路》视频教程完整版

单片机源程序、印制电路板图等

2009年第7期～第12期

栏目 特别策划 | 音频应用 | 广播爱好者 | 火腿通信 | 测试测量 | 玩转单片机 | 实用电路制作 | 维修帮手 | 初学者园地

享受广播 - TECSUN

Enjoy broadcasting

TECSUN

德生牌收音机

中国驰名商标

读天下文章 听世界新闻

DSP

数字信号处理

德生技术合作伙伴—美国SILICON LABS

www.tecsun.com.cn

东莞市德生通用电器制造有限公司 公司与工厂地址：中国广东省东莞市东城区莞长路189号德生大楼 邮编：523071 电话：0769-23167118 传真：0769-23160700

人民邮电出版社

POSTS & TELECOM PRESS

订阅方式：

1. 各地邮局均可订阅，收订热线：11185

2. 汇款到本杂志社订阅

邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志（100061），收款人：《无线电》杂志

银行转账：户名：北京邮电图书总公司　　开户行：工行北京体育馆路支行

账号：0200008109022100111（请在附言栏注明邮编、地址、电话、姓名及杂志名称）

3. 24小时网上订阅：bk.chinapost.com.cn（客服电话：400-6611185）

4. 杂志社咨询电话：010-67134361

人民邮电出版社 POSTS & TELECOM PRESS

ISBN 978-7-115-21787-5

9 787115 217875 >

ISBN 978-7-115-21787-5

定价:40.00 元(附 2 张光盘)

无线电合订本

2009 年（下）

《无线电》编辑部　编

人民邮电出版社
样书
专用章

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目（CIP）数据

《无线电》合订本. 2009年. 下 / 《无线电》编辑部编. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2010.1
ISBN 978-7-115-21841-4

Ⅰ. ①无… Ⅱ. ①无… Ⅲ. ①无线电技术－2009－丛刊 Ⅳ. ①TN014-55

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第216726号

内容提要

《无线电》合订本 2009 年（下）囊括了《无线电》杂志 2009 年第 7 ~ 12 期所有栏目的全部内容，并经过了再次加工整理，按期号、栏目、专题、连载系列等重新分类编排，以方便读者阅读。

随书附赠《用可编程逻辑器件设计数字语音电路（上）》、《用可编程逻辑器件设计数字语音电路（下）》双光盘，光盘中还收录了与文章相关的印制电路板图、电路原理图、源程序等。

本书内容信息量大，涉及电子技术广泛，文章精炼，技巧经验丰富，实用性强，适合广大电子爱好者、电子技术人员、家电维修人员阅读。

《无线电》合订本 2009 年（下）

◆ 编　　《无线电》编辑部
责任编辑　房　桦　尹　飞　邓　晨

◆ 人民邮电出版社出版发行　北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编　100061　电子函件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京鑫正大印刷有限公司印刷

◆ 开本：787×1092　1/16
印张：35.75
字数：1 166 千字　　2010 年 1 月第 1 版
印数：1 – 9 000 册　　2010 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-21841-4

定价：40.00 元（附 2 张光盘）

读者服务热线：(010)67132837　印装质量热线：(010)67129223
反盗版热线：(010)67171154
广告经营许可证：京崇工商广字第 0021 号

无线电

2009年合订本（下）

CONTENTS

目录

特别策划

温度测量与校准专题

怎样测量温度 吉同根（002）

温度的标尺 吉同根（003）

高精度宽范围温度传感器的特点和使用 吉同根（004）

工业测量温度中的高精度宽范围二次仪表 吉同根（006）

温度测量仪表的校准 吉同根（008）

新中国成立 60 周年专题

国产电子管收音机精彩回顾 陈汉燕（026）

国产晶体管收音机精彩回顾 靳宁（029）

衣带渐宽终不悔——我对广播和《无线电》的执着追求 张建雄（032）

“成都无线龙”无线网络入门专栏

DIY 微功耗基础无线网络 吴线（021）

DIY ZigBee 无线传感器网络 吴线（034）

从 LED 到 LCD 的巨变 胡康（039）

音频应用

使用开关电源的高保真功放☆ 牛歌 张新苗（044）

一款高品质的 USB 声卡的制作 游宇兵（051）

电子管前级＋电子音调的制作 古伟桓（054）

说说 AMT 扬声器 吴红奎（056）

DIY 一台有个性的 M5 桌面小甲功放 牛歌 张新苗（061）

用分立件打造靓声运算放大器 廖茂柏（064）

DIY 的乐趣——12 元钱的摩机小记 李俊杰（067）

胆石后级皆宜的缓冲胆前级 张全定（070）

新型大功率车用音频功放集成电路 TDA7375AV 和 TDA8595 吴红奎（071）

A 类功放 薛国雄 译（075）

用国产扬声器单元制作一对密闭音箱 何立基（077）

用旧电脑配件打造优质影音录播一体机 姚宗栋（079）

全互补推挽三级功率放大电路的设计 陈永胜（083）

NXP 用于平板电视机的新型 D 类功放芯片（1） 吴红奎（087）

“天鹅”音箱的创作 陆燕玶（091）

D 类功放到底动了谁的奶酪? 安徽老罗（093）

NXP 用于平板电视机的新型 D 类功放芯片（2） 吴红奎（096）

在组装功放中对自激现象的处理 林芝松（100）

魂牵梦绕全平衡 SA300 纯后级 牛歌 张新苗（102）

简单易制的另类音箱 张全定（110）

全手工打造 2.1 多媒体功放 江海洋（112）

基于开关电源的线性功放及其摩机 吴红奎（114）

打造超强的 Hi-Fi 桌面功放 覃斌（119）

出类拔萃的“小胆机” 张全定（124）

基于开关电源的线性功放及其摩机（续） 吴红奎（128）

简洁至上 靓声功放——打造 A30 小型发烧级甲类功放 卞镜秋（131）

改造一对损坏的 12 英寸励磁全频扬声器 倪文贤（134）

巧修中低音扬声器 倪文贤（137）

AKG K720 耳机的拆解与修理 倪文贤（139）

手工制作平膜耳机

——平膜单元的初步制作 倪文贤（141）

——平膜单元的深入制作 倪文贤（144）

——把完成的平膜单元做成一副耳机 倪文贤（147）

广播爱好者

永远芬芳的牡丹——我的牡丹 942A 系列空气双连收音机情结 张建雄（150）

德生 PL-300WT 收音机试用手记 张建雄（153）

收听 FM 音乐广播的利器——极典 R301S 收音机 红色电波（155）

让熊猫继续唱歌——熊猫 B623 收音机购买、修复手记 张建雄（157）

一款收音机精品——美国珍妮斯（ZENITH）收音机 D-7000Y 陈祖德（160）

2009年合订本（下）目录

收藏佳品——春雷 605-3 晶体管收音机 张建雄（162）

收听 FM 音乐广播的利器——极典 R301S 收音机（续） 红色电波（163）

“文革”产半导体收音机复活记 罗列（166）

德生 PL-380 收音机试用手记 张建雄（168）

国宝在我心中——有感于南京熊猫集团广播爱好者盛会 boris（171）

鉴赏与收藏

谈谈早期的熊猫牌收音机 陈汉燕（172）

珠联璧合——德生 AN-100 天线与伊顿 E1XM 收音机的完美联姻 张建雄（174）

十年修得同船渡——我与德生收音机的不解之缘 张建雄（176）

火腿通信

业余慢扫描电视（SSTV）通信 吴国光（BA7IA）（178）

CW 爱好者的福音——音频滤波器 DIY（1） 阮东升（BA6QH）（182）

HAM 设备实测报告

“大红点”短波数显驻波比表试用报告 杨法（BD4AAF）（185）

电台天线调谐器选购指南 聆听（188）

自制等幅发射机 时刻（BA6BF）（192）

业余无线电测向器材选用指南 聆听（194）

CW 爱好者的福音——几款音频滤波器的实作（2）☆ 阮东升（BA6QH）（198）

业余数字慢扫描电视（D-SSTV） 吴国光（BA7IA）（202）

接收极微弱信号不再难——JT65 数字通信模式 吴国光（BA7IA）（204）

中国业余电台设备与市场发展回顾（上） 杨法（BD4AAF）（206）

中国业余电台设备与市场发展回顾（下） 杨法（BD4AAF）（208）

收发信机 DIY 实战

进入单边带通信的世界 时刻（BA6BF）（212）

业余高频功率放大器 时刻（BA6BF）（215）

自制简易单边带收发信机 时刻（BA6BF）（218）

小功率短波功率放大器 时刻（BA6BF）（222）

中国无线电运动协会召开空间通信工作会议 方明（BA6AA）（224）

五步制作电台假负载 徐建东（BG6BAT）（225）

说说晶体管放大器的“甲乙丙” 时刻（BA6BF）（226）

专业对讲机也能体验业余数字通信的乐趣——MOTOTRBO XiR P8268 使用体验 杨法（BD4AAF）（229）

自制 QRP 开关型长线天调 卜宪之（BD4RG）（232）

2009 业余电台热门器材年度回首 杨法（BD4AAF）（234）

火腿操作入门

基地台发射操作进阶 方明（BA6AA）（238）

基地台高级操作进阶（上） 方明（BA6AA）（241）

基地台高级操作进阶（下） 方明（BA6AA）（245）

户外通联进阶（上） 方明（BA6AA）（249）

户外通联进阶（下） 方明（BA6AA）（253）

IOTA 通联进阶 方明（BA6AA）（256）

天线制作十二款

合二为一的 UHF / VHF 频段 J 型业余卫星通信天线 吴国光（BA7IA）（260）

偶极振子十字型对空天线 吴国光（BA7IA）（262）

适合业余卫星通信的“打蛋器”天线 吴国光（BA7IA）（265）

制作适合城市中架设的 LOOP 天线 刘燕北（BD2BH）（269）

可以在阳台上使用的多波段定向天线 刘燕北（BD2BH）（272）

人人都能架设的低波段天线——顶端容性加载型 80m 波垂直天线 刘燕北（BD2BH）（274）

测试测量

如何测试音频放大器 牛歌（276）

电子镇流器的制作与检测 朱球辉 葛中海（279）

用电脑声卡捕捉和分析红外遥控编码 吴巍（282）

手机也能看波形（上）——用蓝牙模块给虚拟示波器添加无线连接功能 王一（285）

手机也能看波形（下）——用蓝牙模块给虚拟示波器添加无线连接功能 王一（288）

I^2C 和 1-Wire 总线波形测量及使用注意事项 黄培根 凌锋（290）

自己动手制作测试仪器（原理篇） 林芝松（292）

自己动手制作测试仪器（制作改进篇） 林芝松（297）

自己动手制作测试仪器（应用篇） 林芝松（301）

2009年合订本（下）目录

通用型手机充电器完全剖析 李威 葛中海（305）

你的电器漏电吗？——DIY 数字绝缘电阻表☆ 周长锁 侯善刚（309）

示波器测评专题

主流经济型四通道数字示波器横向测评 程建川（312）

基本性能测评（314）

主要特色功能测评（316）

服务测评（319）

测评总结（321）

怎样选购示波器 王军（322）

自制 USB 接口温度记录仪 孙红生 蔡文著（327）

从零起步用示波器 王军（329）

实测伊万多功能示波检测仪 EF521A 魏坤（332）

制作一个简易宽频 DDS 信号源 卫小鲁（BH7PCK）（335）

玩转单片机

图解制作电子琴☆ 周宝善（341）

图解制作《北京欢迎你》音乐盒☆ 周宝善（344）

精简设计为你而来 mini1608 电子时钟（制作篇）☆ 杜洋（346）

终极原理为你而来 mini1608 电子时钟（原理篇） 杜洋（350）

NXP 系列单片机的编程 鲍丽星（353）

PIC 拷贝器的原理与应用 钟科（355）

无线加速度采集仪 胡进 崔元洋（358）

巧用红外二极管无线传送温度数据☆ 徐霄飞 李昊 陈冲冲（361）

ATMEL 正式为中国客户开通 AVR/AVR32 在线中文技术支持 资料室（363）

无线电铃的制作与使用（上） 黄桂梅 刘永立（364）

无线电铃的制作与使用（下） 黄桂梅 刘永立（368）

PIC 单片机最新编程器 / 调试器 PICkit3 初体验 刘作新（371）

简易 USB 转 ISP 下载线 傅建（376）

应用 ISP 轻松入门单片机 刘信华（378）

多变炫目的 LED 灯牌 许勤斌（381）

随温而动——让电风扇根据温度自动调节风量大小 梁承权（384）

易用的三端无线供电芯片组 VOX05MP01 和 VOXR10D 古人（387）

绿色节能的低功耗单片机 沈建华（389）

MSP430 单片机开发环境的使用 魏小龙 邱芝贞（393）

硬件环境与应用简介 魏小龙 邱芝贞（395）

时钟计算器 魏小龙 邱芝贞（396）

自行车里程表 魏小龙 邱芝贞（397）

数字音量收音机 魏小龙 邱芝贞（398）

数字万用表 魏小龙 邱芝贞（399）

单片机开发工具大探秘 马晓晶（400）

温度采集也无线（硬件设计）☆ 陈庚（403）

DIY 能显示农历和节气的 12864 液晶万年历时钟 杨黎民（406）

单片机开发常用工具大比拼 马晓晶（409）

温度采集也无线（软件篇）☆ 陈庚（411）

照猫画虎——记一次难忘的开发经历 董庆源（413）

小巧节能的段式 LCD ☆ 周长锁（418）

PPT 文档展示的好帮手——USB 无线翻页器☆ 刘亮（421）

手把手带你做单片机控制的多通道无线遥控装置（1） 付国迎（424）

PICkit3 脱机编程实操详解 刘作新（428）

用单片机制作新型数字仪表

从“开心农场偷菜钟”到智能仪表 史振道（430）

自己动手用 AVR 单片机做智能车 李文卿（434）

恩智浦推出低成本 Cortex-M0 微控制器——LPC1100 资料室（440）

实用电路制作

用 FM 收音模块制作可显示频率的收音机☆ 唐继贤（BD9AH）（441）

灵敏度可调的便携酒精探测器 陈天宇（444）

实用的晶体管在线测试仪电路 张全威（447）

绿色照明好帮手——太阳能灯的制作☆ 耿伟 袁芬（449）

电容式白炽灯触摸开关 俞虹（451）

冰箱关门提醒器的制作 刘潇（453）

实用多芯电缆对线器 霍永强（454）

我的第二版数码相框——数码相框的升级制作☆ 张彬杰（455）

红外遥控信号无线转发器 康春雨（457）

用辉光数码管制作数字万用表 高磊（460）

使用超级电容器储能的太阳能灯 康春雨（464）

2009年合订本（下）目录

CONTENTS

超级电容器与可充电电池的比较　康春雨（466）

小巧实用的调频发射器　任杰（468）

便携式电池电量检测器　齐业璪（470）

制作中的好帮手——数字电压表头　ksysl（472）

自制 3D 鼠标——让鼠标脱离桌面实现控制☆　陈天宇（474）

测测磁场有多强——用模块法自制简易高斯计　王超（478）

维修帮手

微波炉常见故障的快速检修　王绍华（481）

一点通　怕冷罪魁——电解电容　王海梅（481）

巧用 ET521A 示波表检修电视机的伴音故障　董灵江（482）

索尼 PSP 原装电池解锁秘籍　潘邦文（483）

美的电磁炉不加热故障检修　季成荣（483）

警惕二极管热开路故障　段丽红　李洁（484）

维修小经验　遇疑难 修电源　宋华（484）

一点通“对调法”在维修中的应用　宋华　段丽红（485）

用示波表快速检修液晶显示器　雷隆声（486）

小贴士　安全卫士——热熔断器　杨宝娟（486）

三角牌电饭煲常见故障的检修　余俊芳（487）

自己动手检修自动电热水壶　韩军春（489）

小贴士　不容忽视的保险电阻　宋华（489）

智能公共广播系统的维修　于永泉（490）

维修在你身边　自己动手维修电风扇　王海梅 段丽红（493）

小贴士　检测电容失效造成电磁炉铁锅不加热　杨舟成（493）

维修总动员　电脑维修你我同行　宋华 段丽红（494）

小贴士　耐压越高越好吗？　段丽红（494）

充电时误操作引发的电动自行车罢工　罗列（495）

从一个维修的实例谈起　王海梅（495）

大功率有源音箱的原理与维修　赵幸福（496）

生活中的小维修 如何维修电吹风　段丽红（499）

话说家电维修中的几个认识误区　王绍华（500）

电脑维修 DIY 怎样应对电脑蓝屏　段丽红（501）

小贴士　遥控风扇“不摇头”故障检修　周瑞卿（502）

艾美特电磁炉不加热故障的维修　李少怡（503）

电动车充电器屡损功率管的检修　梁明义（505）

维修感悟 小小压敏电阻作用大　李洁（506）

色差分量接口 YCbCr 和 YPbPr 辨析　段丽红（506）

短路法在彩电维修中的应用　王玉龙（507）

问与答　（509）

初学者园地

常用元器件的识别与使用

无处不在的电容器　张晓东（515）

阻交流传直流的电感器　张晓东（519）

形态各异的变压器　张晓东（523）

用途广泛的晶体二极管　张晓东（527）

色彩斑斓的发光二极管　张晓东（531）

功能独特的稳压二极管　张晓东（535）

变压器使用常识　张晓东　肖影雪　张传贝（539）

一项有趣的磁悬浮试验　王超　梁鑫辉（540）

太阳能电池板与蓄电池如何匹配　袁芬（542）

轻松做出高亮钥匙扣 LED 手电筒　吴晓燕（543）

线圈电感量的简单计算　张晓东（549）

简易太阳能手机充电器的制作　耿伟　袁芬（550）

洞洞板上的小电路　简易厨房定时器☆　温正伟（552）

活动报道

首届北京无线电广播爱好者联谊会圆满召开　本刊记者 邓晨（012）

无线电爱好者的展会不仅只有电台和天线——我眼中的上海国际业余无线电节　张峥（BG8SF）（014）

北京无线电广播爱好者联谊会“牡丹”专题活动报道　本刊记者 邓晨（018）

江苏首届青少年无线电能手大赛圆满落下帷幕　本刊通迅员（244）

记 2009 年全国青少年无线电通信锦标赛　俞解民（BA4ST）（544）

我的参赛手记——参加 2009 年“NEC”杯全国大学生电子设计大赛有感　杜灿鸿（546）

2009 年深圳电子展展会报道　杜洋（554）

第 74 届中国电子展拾萃　本刊记者 尹飞（556）

爱好者视点　（558）

加☆表示配书光盘中有与该文章相关的文件

兴趣造就品质 爱好彰显非凡

欢迎订阅

[精品期刊]

资讯权威无价 邮识丰富有趣
图文精彩无限 邮友互动有情

国家期刊奖百种重点期刊
入选中国期刊方阵

邮发代号：2–222
定价：10元 全年定价：120元

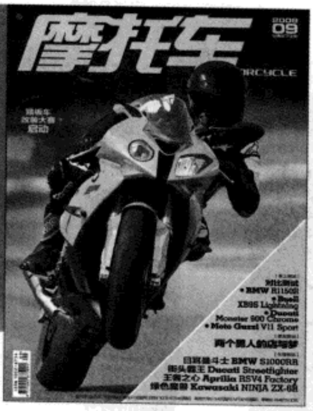
发烧音响制作 业余电台通信
开发实验维修 趣味基础入门

国家期刊奖
入选中国期刊方阵

邮发代号：2–75
定价：10元 全年定价：120元

测评酷车新品 纵览赛事尘烟
展示骑士风采 尽显激情生活

全国汽车类期刊一等奖



邮发代号：2–342
定价：15元 全年定价：180元

赏鉴发烧名品 聆听天籁之音
融汇艺术科技 品味时尚生活

邮发代号：82–590 定价：20元
全年定价：240元（每期附赠光盘）

饱览电台设备 展现HAM风采
尽享沟通乐趣 品味无线生活

邮发代号：80–990 定价：15元
全年定价：90元（6期，双月刊）

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

地址：北京市崇文区夕照寺街14号A座 邮政编码：100061
电话：010–67164806 67133910 http://www.ptpress.com.cn

怎样测量温度

◎吉同根

说起温度恐怕没有人不知道，CCTV新闻联播后的定时天气预报那是家喻户晓的，可是你知道温度是怎样精确测量出来的吗？估计有不少朋友得语塞，别急，且听我慢慢道来。

温度虽然不能直接加以测量，但可以借助热平衡原理来进行间接测量：选择某一物体与被测物体相接触，当达到热平衡时，通过测量所选择物体的物理量，得出被测物体的温度数值。

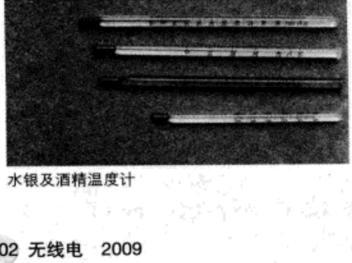
普通温度传感器工作原理

与我们日常生活息息相关的温度测量随处可见，无处不在。例如：

我们平常使用的酒精温度计及水银体温计等液体温度计就是利用酒精及水银热胀冷缩的物理性质加以测量的。

日光灯启辉器（跳泡）是利用双金属热膨胀系数的差异来感知温度的变化而实现启动回路的断开与接通的。

电饭锅的温控开关则是通过磁性材料的居里温度实现温度控制——锅底中央的磁性元件感受到大于103℃～105℃的临界居里温度时将失去磁性，在弹簧力的作用下，加热回路被断开，进入保温状态。



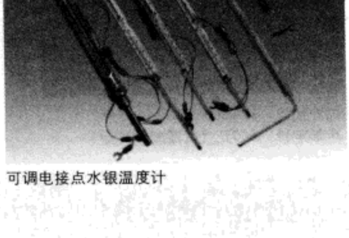
水银及酒精温度计

空调、冰箱的温控开关既有用机械式的液体感温包或用金属热膨胀原理的，也有用电子式的热电阻、热电偶的。对于机械式的温控器，感温元件感受到温度的升高后会发生热膨胀变形并导致其位移，从而带动相应的触点开关动作来控制压缩机的开停；对于电子式的温控器，感温元件感受到温度的变化后将输出相应的物理电量信号（阻值的变化，电压值的变化等），这些电量信号经控制电路处理后输出控制信号来控制压缩机的启停。

以上都属于接触式感温，除此之外，还可以利用热辐射原理进行非接触测量。例如，红外测温仪就是典型的利用热辐射原理来测量温度的，它的测温原理基于：一切温度高于绝对零度的物体都在不停地向周围空间发出红外辐射能量，通过对物体自身辐射的红外能量的测量，就能准确地测定它的表面温度。

高精度宽范围温度测量

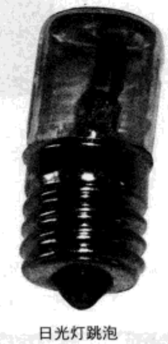
无论是接触式温度计还是非接触式温度计，亦无论是一体化便携式温度计还是分体式温度计，它们都有着不同的应用场合。手持便携式温度计及非接触式温度计适合测量少量个别温度点的表面温度，它们方便实用，无需远传；对于测量有毒有害、易燃易爆设备的内部温度，则非“接触式远传测温仪”莫属。因为，这样的危险场合往往出现在工业生产中，它的测温点不但数量众多，且需远距离及时控制，稍有不慎就会酿成车毁人亡的惨痛局面。



可调电接点水银温度计

1.为什么要进行高精度宽范围测温

工业用测温仪表不但要求精度高，而且需要宽范围温度测量。比如，工业用气化炉（高压容器）测温范围是0～1800℃，要求精度级大于等于0.5级，控制指标≤1380℃，一旦温度超标很容易诱发大爆炸事故。

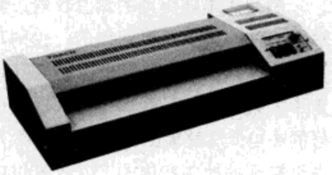


日光灯跳泡

再如，热转印

红外温度计

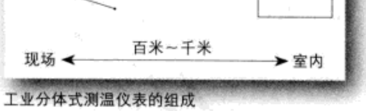
制版机，当热转印纸温度达到180.5℃时，热转印纸对融化的墨粉吸附力急剧下降，在压力的作用下，使融化的墨粉完全吸附在敷铜板上。敷铜板冷却后，形成紧固的印制图形，完成整个热转移过程。这里需要强调的是：整个热转移过程对温度的要求特别高，温度的控制显得尤为重要。温度过高时，过度融化的墨粉会扩散到原有线条的四周，造成图形模糊，温度过低时，又会出现转印效果差，甚至不能转印的后果。因此，热转印制版机温度传感器都是采用进口Pt1000（0℃时对应阻值1kΩ）型的薄膜铂电阻，使温度分辨率达到0.1℃，以满足制版对温度的要求。



热转印制版机

2. 高精度宽范围测温仪表的组成

出于人身安全的考虑及高效操作的原则，工业用测温仪表分为现场温度传感器（俗称一次元件）和操作室内用来显示或记录的二次仪表，它们构成一套完整的测温系统，属于典型的分体式测温仪表。具体组成见附图。



工业分体式测温仪表的组成

图中常用一次元件为热电阻或热电偶，二次仪表既有指针式记录仪，也有数字式显示仪，目前多数采用DCS（Distributed Control System——分散控制系统）电脑显示屏显示。

温度的标尺

◎吉同根

温度，对于我们来说并不陌生，温度计，对于我们来说也不新鲜，但是，说起温标，有些朋友可能就会三缄其口了。在谈温标之前，有必要先定义一下温度。

什么是温度呢？物理学上是这样定义的：“物体分子间的运动将产生热量，而温度（Temperature）即是表征物体冷热程度的物理量。”通俗地说，我们日常生活中所感知的“热”和“冷”就是指温度的“高”和“低”。

既然温度的定义有了，那么，温度的刻度读数又是怎样划分的呢？温度的刻度读数即是温标——温度的标尺。

1714年，德国物理学家丹尼尔·家百列·华伦海特（Daniel Gabriel Fahrenheit）率先创建了“华氏温标”（Fahrenheit）——标准大气压（760mmHg）下，纯水的冰点为32度，沸点为212度，划分成180等份，每一等份为1华氏度（℉）。至今只有美国、英国仍在使用。

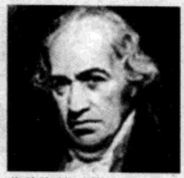
1743年，瑞典天文学家安德斯·摄西阿斯（Anders Celsius）设计的温度计——将一个标准大气压下水的冰点作为0度，沸点标为100度，在它们之间进行100等份刻度，每一等份为1摄氏度(℃)。这就是常见的“摄氏温标”(Celsiur scale)，目前被多数国家所采用。

根据以上两位科学家的杰作即可推导出摄氏温标与华氏温标之间的换算关系是：

n℃ = $(1.8n+32)$℉

式中n表示摄氏温标的读数。

从华氏温标和摄氏温标的刻度划分不难看出：不同的人选取不同的物质或选取相同的物质而划分成不同的刻度所做出的温标，其差异是很大的，很难统一。为了尽快结束这种混乱不堪的局面，伟大的英国物理学家开尔文于1848年创建了“热力学温标”（开氏温标，Kelvin，也称“绝对温标”）——它规定分子运动停止时的温度为绝对零度，而与任何测温物体的物理性质无关。



华伦海特（英）

摄西阿斯（瑞典）

开尔文（英）

热力学第三定律告诉我们，绝对零度不可能通过有限的降温过程达到，所以说绝对零度只能是一个无限接近，却不能达到的理论最低温度。因此，“国际温标”也就应运而生。

1989年，国际计量委员会在18届国际计量大会第七号决议通过了国际温标。国际温标是用来复现热力学温标的，它规定水的三相点热力学温度（固态、液态、气态三相共存时的平衡温度）为273.16K，把273.15K作为0℃，它与摄氏温度之间的关系是：

$t=T-273.15$

式中，“T”表示热力学温度，单位是“开”（K）；“t”表示摄氏温度，单位是“℃”。

经典热力学中的温度是没有最高温度概念的，只有理论最低温度——“绝对零度”，这就如同在压强的概念中只有理论最低“绝对零压”（压强，工业上常惯称压力）是一样的道理。

高精度 宽范围 温度传感器的特点和使用

◎吉同根

不同的温度传感器有着不同的特点，我们只有了解它们各自的特性，熟知其原理，方可做到物尽其用，尽善尽美。

热电偶温度传感器

1. 热电偶特点

工业生产中温度测量使用的传感器主要采用国家标准热电偶及国家标准热电阻，它们都属于分体式远传温度测量仪表。热电偶相对于热电阻来说有着更为广阔的测量范围，通常可以测到1600℃的高温（如：铂铑30－铂铑6，对应分度号是“B”）和－200℃的低温（如：镍铬－镍硅，对应分度号是“K”），特殊情况下，其极限温度可以测到2800℃的高温（如：钨－铼）和4K的低温（如：金铁－镍铬）。因此，以热电偶为温度传感元件的测温仪表具有更为广泛的应用。

2. 热电偶测温原理

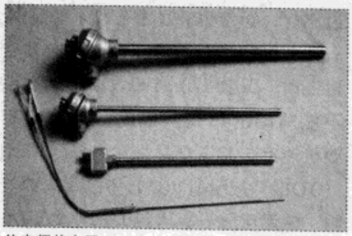
热电偶（thermocouple）的测温原理是基于德国物理学家塞贝克（Seebeck）1821年发现的热电现象：将两种不同材质的导体或半导体构成一个闭合回路，在形成的两个接点间如果有温差存在，则回路中将会产生微弱的热电流，这种现象称之为塞贝克热电效应。根据塞贝克热电效应，我们可以将上述回路中的任意一个接点焊接牢固并置于需要测温的地方（如炉膛），而将另外一个接点断开，这样在断开处就能测出代表温度的回路热电势。

3. 热电偶使用

由于热电偶测温范围不同，其所使用的材质也不相同，这当中价格相差悬殊，因此，用户有必要合理选择热电偶类型。表1是国际电工委员会推荐的8种标准化热电偶中常用的4种热电偶的测温范围及对应的补偿导线型号等参数，目前中国已采用。

热电偶在实际使用中，为了使正负极之间及正负极对设备之间保持良好的绝缘，需要在电偶丝上套上耐高温的绝缘瓷管，如果是测量带压或带酸等设备的温度，还需再安装耐高温及耐压或耐酸的保护套管，然后将热电偶插入保护套管内使用。

4. 补偿导线

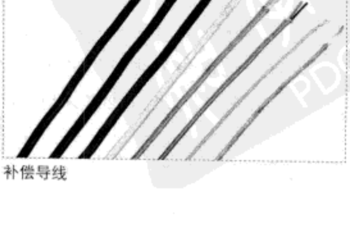

热电偶热电阻

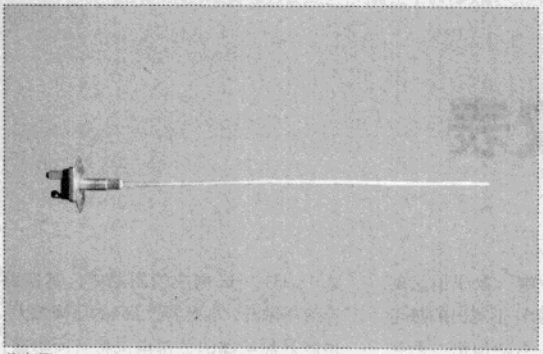
利用热电偶组成的测温仪表，其热电势往往都是需要远传的，少则几十米，多则上千米。因此，在实际使用中，必须将现场装置中代表温度信号的热电偶冷端输出电压值（mV数）送至较远的控制室内的二次仪表供内操人员读数。

是不是可以直接用一个较长的热电偶延伸至室内呢？不可以。是不是可以用普通导线将热电偶延伸至室内呢？也不可以。为什么？因为，热电偶所用金属材料都是较为昂贵的金属，这样的代价太大，况且，由于其柔韧性远不及普通铜导线，不利于敷设安装；同样，如果用普通铜导线将热电偶冷端直接延伸至室内，由于冷端与二次仪表之间温差不能被热电偶测出，这将导致测量误差显著加大。有没有好的办法将冷端与二次仪表之

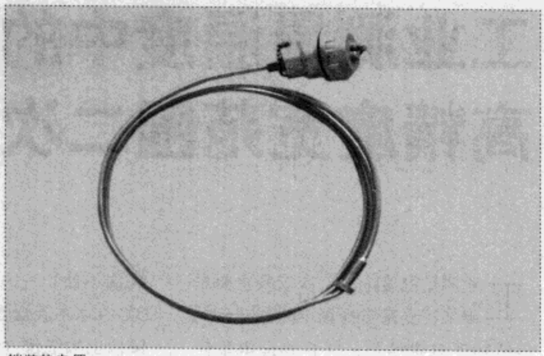
表1 常用热电偶及对应补偿导线部分参数

热电偶分度号	S	K	E	J
热电偶名称	铂铑10－铂	镍铬－镍硅	镍铬－康铜	铁－康铜
热电偶测温范围（℃）	0～1300	－200～1200	－200～750	－200～350
热电偶对应补偿导线型号	SC	KC	EX	JX
补偿导线正极线芯材料	SPC（铜）	KPC（铜）	KPX（镍铬）	JPX（铁）
补偿导线正极绝缘层颜色	红	红	红	红
补偿导线负极线芯材料	SNC（铜镍）	KNC（康铜）	KNX（铜镍）	JNX（铜镍）
补偿导线负极绝缘层颜色	绿	蓝	棕	紫

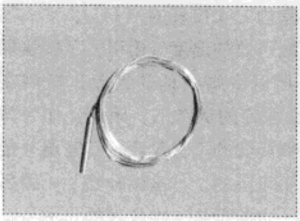

补偿导线

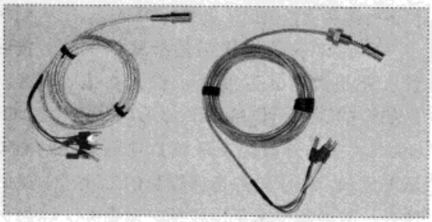


热电偶



铠装热电偶





热电阻

间的温差问题解决呢？

较为经典的办法就是采用补偿导线将热电偶的冷端延伸至室内。何谓“补偿导线”？也就是在一定温度范围内（0℃～100℃），其热电特性与热电偶的热电特性几乎相同（在允许的误差范围内），而其造价相对于热电偶却十分低廉。通常情况下，冷端和二次仪表之间的温差是不可能达到100℃的，通过补偿导线的引入也就很好地解决了热电偶远传所带来的测量误差问题。

除此之外，随着微电子技术的不断发展，微型热电偶温度变送器（简称“温变”）的出现也有效地解决了这个问题。微型热偶温变可以直接安装在现场热电偶的接线盒内，并将电偶输出的毫伏（mV）信号转换为标准的4～20mADC（direct current）输出，这样就可以通过2根信号线将其送入DCS（Distributed Control System——分散控制系统）控制室。这2根线既是24VDC电源线，同时又是4～20mADC回路线。当然，热电偶温变内一定是要带有“室温补偿”电路的。

铠装热电阻

热电阻温度传感器

1. 热电阻特点

热电阻的种类选择远不及热电偶多，工业上多用Pt100（0℃时阻值100Ω）铂热电阻作为测量元件（传感器）。按照国际电协会IEC标准规定，Pt100的测温范围是-200℃～850℃。虽然铂热电阻的测温范围不及热电偶宽，但是它精度高、易提纯，而且可以制成极细的铂丝（Φ≤20μm），这些都是热电偶无法与之抗衡的。

另外，热电阻还有一个显著的有别于热电偶的信号传输特点：为了克服远距离非稳定的线路电阻（导线电阻也会随着使用环境的变化而变化，比如，环境温度的变化，线路的长短等）给测量带来的误差，一次元件和二次仪表之间必须采用“三线制”传输代表温度的电阻信号。当然，如果在现场热电阻接线端子处加接热电阻温度变送器，那就另当别论了。

热电阻信号的“三线制”传输为维修人员辨别现场正在使用的一次元件（带外套的铠装热电偶及热电阻常常外形相似）到底是热电偶还是热电阻提供了一种简便直观的方法。

2. 热电阻测温原理及使用

热电阻温度计的测量原理是基于金属导体或半导体的阻值与其所感受的温度具有一定的函数关系来实现温度测量的。函数关系式如下：

$$Rt=Rt_0[1+\alpha(t-t_0)]$$

其中，Rt代表温度为t时的电阻值，Rt_0代表温度为t_0时的电阻值，α为电阻温度系数——温度每升高1℃时的电阻值相对变化量。

热电阻在实际测量当中的使用同样需要遵循热电偶的一些使用方法，如，为了使正负极之间及正负极对设备之间保持良好的绝缘，需要在电阻丝上套上耐高温的绝缘瓷管……

工业测量温度中的高精度宽范围二次仪表

◎吉同根

工业测量温度中的二次仪表主要是用来接受来自现场传感器部分的传感物理电量信号，并将物理电量信号进行转换、补偿等处理后供内操人员进行温度读数使用，见图1、图2。

不论二次仪表采用指针式记录仪，还是数字式温度显示仪，亦或是如今的DCS（Distributed Control System——分散控制系统）电脑显示屏显示，对于与热电偶配套的二次仪表，其内部电路至少包括“室温补偿”电路，对于宽范围温度测量的室内仪表还要加“非线性校正”电路用以消除热电偶输出的热电势与其温度之间的非线性关系。另外，二次仪表通常都附带有“断偶”提示电路。同样，对于与热电阻配套的二次仪表，其内部电路至少包括“三线制”测量电路。

室温补偿电路

由于热电偶感受的温度与其对应输出毫伏（mV）数之间的关系是基于国家标准规定的将热电偶参考端（接线端子处）——“冷端”置于恒定的0℃（冰水混合物温度）下测出的热电偶输出的毫伏（mV）数热电势；而在实际测量中，是无论如何也不可能做到将室内二次仪表的“+”、“–”接线端子处的温度（因引入了补偿导线，所以冷端被延伸到此）控制在0℃且恒定的状态下。因此，作为与热电偶配套的二次仪表，其室温补偿是必不可少的。“室温补偿”？顾名思义，也就是将二次仪表的“+”、“–”接线端子处的温度和0℃之间的未被热电偶所测量的温度加以测量补偿。

常见的室温补偿电路见图3，图中VD1为室温补偿敏感元件二极管，通过选取适当的电阻R1、R2的阻值及其配比可获得满意的补偿效果。为了尽量减小测量误差，VD1通常都是紧贴在二次仪表背面的信号输入端子处安装。补偿原理如下：

当室内温度（严格讲应该是二次仪表的“+”、“–”接线端子处温度）升高时，VD1 的压降将有所下降，由VD1、R1、R2 构成的回路中，其回路电流将微升，从而导致 R2 的压降加大，也就是热电偶的负端电位将有所抬高，这样也就将室内二次仪表的“+”、“–”接线端子处的温度和0℃之间的未被热电偶所测量的温差电势通过室温补偿电路产生的电势串联叠加进热电偶输入回路，起到了很好的补偿效果。

另外，还有利用铜电阻作为温敏元件的室温补偿电路。比如，将图 3 中的 VD1 短接去除，将 R2 换成用铜漆包线双向绕制的无感电阻，通过选取适当的电阻 R1、R2 及其阻值配比同样可以获得满意的补偿效果。补偿原理从略。

断偶提示电路

断偶提示电路见图3。图中，R3为断偶提示用电阻。在电偶未断的正常情况下，取值较大的电阻R3中通过微弱的电流，经过内阻很小的热电偶及R2对“地”形成回路，R3中的电流在热电偶“+”端形成的电位几乎可以忽略不计。这里需要说明的是：实际上R3也参与了室温补偿电路，R3中的

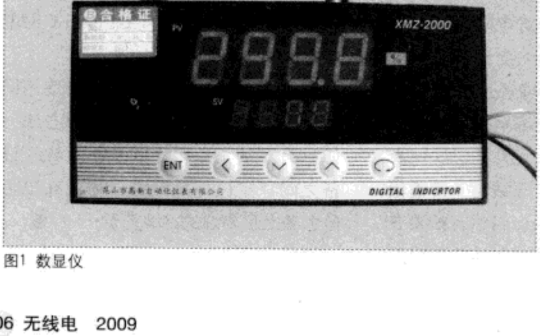


图1 数显仪

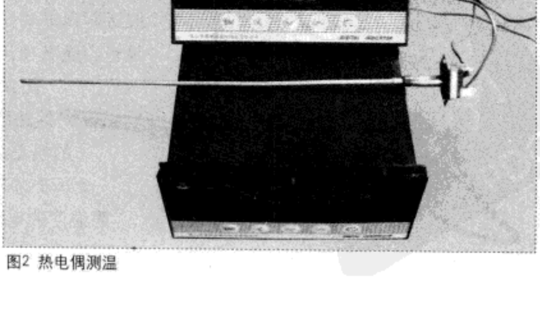


图2 热电偶测温

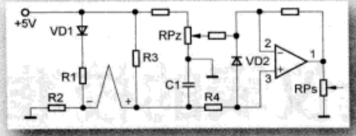


图3 室温补偿及断偶提示电路

电流在R2上也叠加了一定的压降，不过，这些都可以通过二次仪表内部的“调零”电位器RPz的调整予以抵消。

当电偶因故断开（如温度过高将电偶熔断或接线端子处接触不良）时，+5V电压将通过R3、R4加到运放的同相输入端，为了防止过高的输入电压损坏运放，在运放的输入端加有限幅二极管VD2，即使在限幅的情况下，VD2的压降也远远大于热电偶满量程输出的毫伏（mV）数，常用热电偶在最高温差下很少有过百的毫伏（mV）数。因此，断偶时二次仪表的读数必然是其自身能达到的超正常的最大刻度值，起到了很好的“断偶提示”作用。

图3中，C1为抗干扰电容，R4为运放的平衡电阻，RPs为仪器的满度调整电位器。

非线性校正

热电偶的温差和其对应的热电势输出之间的关系存在一定的非线性，当需要测量的温度范围较大时，这种“非线性”引起的误差有可能超过二次仪表的精度等级（通常工业用仪表精度等级≥0.5级），此时就不得不在仪表内加入非线性校正电路了。

常用的非线性校正电路有两种，简要介绍如下：

一是“折线逼近”法，将热电偶分度曲线分段用直线段来代替，所分的段数直到满足仪表的精度要求为止。段数分多了，仪表电路将变得复杂；段数分少了，满足不了仪表精度。每个直线段的斜率尽管不同，但是，可以通过放大电路设置不同的放大倍数来实现。

二是“查表”法，将代表温度数值的电偶毫伏（mV）数转换成0～5VDC进行A/D（Analog/Digital，模拟/数字）转换、锁存（比如IC AD0809），锁存输出的数字信号作为地址码访问并读取EPROM（紫外光擦除，电可编程只读储存器，如IC 2716）中存放的预先做好的“非线性”（此“非线性”数据和热电偶分度曲线的非线性正好相互“抵消”）“表格”。如果后续电路用数显表头来显示温度，比较典型的就是用IC AD7107构成的数显表头电路。那么，读取的EPROM中“非线性”数据还需通过D/A（比如IC DA0832）转换成代表温度的0～2V线性模拟信号送入AD7107。有关AD7107的使用可参考笔者1997年在《无线电》第1期的撰文——《自制简易数显温控仪》。

热电阻三线制测量电路原理

“三线制”测量电路是针对一次测温元件为热电阻，且需远距离传送时，与之配套的二次仪表与一次元件热电阻之间必须采用三线制信号传输方式。原因无非是：热电阻输出的信号是代表温度的电阻值物理量，与之串联的导线同样具有一定的电阻值，而且导线的电阻值是随着环境温度的变化而变化的，与其长短也不无关系。

图4是热电阻三线制测量电路原理图。在二次仪表中采用了很经典的电桥测量电路将Pt100铂热电阻的阻值通过电桥转换为不平衡电流或电压输出，供后续电路使用。

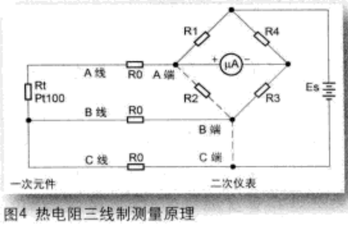


图4 热电阻三线制测量原理

图4中，如果将热电阻Pt100替代电桥中的R2接入电桥测量电路，B端和C端相连，那么就构成了典型的普通两线制测量回路。由于是远距离传输，因此，线路电阻2R0往往达到5、6Ω以上，而铂热电阻的平均温度系数约为0.385Ω/℃，可想而知，这将带来达20℃左右的测量误差，而且，这个误差不是固定的，它是随着环境温度的变化而变化的——金属铜导线也是一个感温导体。这样的糟糕情况在工业温度测量中是绝对不允许出现的，否则，会带来难以预料的恶果。

既然导线电阻导致测量误差达到了不能忽略的地步，那么，就得想办法加以消除。

图4中，将热电阻Pt100替代电桥中的R2接入电桥测量电路，B端和C端不可相连，这样就构成了三线制测量回路。在热电阻三线制测量桥路中，C线连接桥源的负端构成电源回路，A线电阻R0与Pt100电阻之和充当一个桥臂，而B线电阻R0与电阻R3之和充当另一个相邻桥臂。当电桥平衡时，可以得到下式：

$$R1 \times (R3 + R0) = R4 \times (Rt + R0)$$

在电桥设计时，只要满足$R1 = R4$，$R3 = Rt = 100\Omega$（Pt100铂电阻0℃时的电阻值是100Ω），那么，此时的电桥就是平衡的，输出为0。此刻，任由线路电阻R0的阻值怎么变化，电桥总是平衡的，输出总为0。因为A线及B线电阻R0分别构成了相邻桥臂的分支对称电阻，在电桥平衡时，它们总是相互抵消的。这就是三线制测量电路可以抵消导线电阻的原理。

以上的分析是建立在电桥平衡时得出的结论，随着测量温度的变化，电桥将失去平衡，导线电阻带来的测量误差将不能完全被抵消，但即使这样，它与两线制测量电路相比，其线路电阻对测量结果的影响也已经大为减少。

温度测量仪表的校准

◎吉同根

校准（calibration，过去称“校验”，现在计量管理用“校准”）是整个仪表使用过程中的关键所在，再好的仪器如果校准不得法，仪器的优良性能将会丧失殆尽，甚至于酿成重大安全事故。

在谈校准之前不得不提的两个基本概念——“精度级”及“分辨率”！为何这么说呢？因为，“精度级”与“分辨率”这两个计量术语一般人不容易搞清楚，往往将高分辨率等同于高精度测量，这实在是一个严重的误区！

精度级与分辨率

精度就是精确度，又称准确度。精度等级就是最大引用误差值去掉“±”及“%”。国家规定的精度等级由高到低依次是：0.02、0.05、0.1、0.2、0.35、0.5、1.0、1.5、2.5。精度等级通常在仪表的铭牌框上都能找到。

测量仪表的分辨率是指测量器具对所测量物理量的最小可靠分辨能力。很显然，对于数显表，小数点后面保留的位数越多其分辨率越强。

说到精度级与分辨率不由得让笔者想起赫赫有“名”的DS18B20，名在哪里？名在它的高分辨率——小数点后4位以上。这样的高分辨率很容易使常人混淆为高精度温度测量。DS18B20是美国DALLAS半导体公司继DS1820之后最新推出的一种改进型智能温度传感器，它是单片机爱好者的良师益友，是一种用来制作温度传感与测量显示一体化的便携式测温仪表所用IC。初次接触DS18B20时，笔者大为吃惊——吃惊它的高分辨率！吃惊之余不得不提出疑问：它的测温精度到底是几级呢？基于测量准确度考虑，这样的高分辨率有意义吗？当务之急查找DS18B20说明书，翻来覆去只看到如下“指标”：“精度为±0.5℃，测温范围是-55℃～125℃，固有测温分辨率为0.5℃。”说实话，我只看懂了测温范围这项指标，其他的真是模棱两可。它内部的感温元件是半导体PN结，根据经验揣摩它的精度应该是0.5级。如此一来，可以计算出它的允许误差是：

允许绝对误差＝±精度级%×(量程上限－量程下限)

＝±0.5%×［125－（－55）］

＝±0.9℃

按照这样的允许误差，其分辨率保留小数点后一位就够了。

对于一台1级的测量仪表，如果有哪位朋友通过自身的努力而使其达到0.5级的标准，这将是一个了不起的伟大壮举！相对于精度级而言，一台3位半数显测量仪表的分辨率，可以轻而易举地将其提高到4位半，甚至于5位半的分辨率——然而，这对于提高仪表的测量精度来说却是徒劳的！

根据《中华人民共和国计量法》及国家相关计量检定规程的规定，仪表的测量精度级别必须是由持有相应有效证书的检定人员通过比被校表高3～10倍精度级且合格的标准表在规定的条件下校准并检定得出的。按照计量管理要求，量值传递必须具有溯源性。

正因为对测量仪表精度级的确认有如此苛刻的要求，才造成了不良厂商有机可乘。作为一般的使用者，除了相信厂家说明书上提供的精度指标

过程校验仪

便携式校验仪

外（有的居然找不到这样的指标），其他的别无选择。使用者只能相信自己的一双“慧眼”——精确到小数点后好多位，那说明测量很准啊。殊不知，这双慧眼已经被高分辨率所俘虏。请看如下示例。

一台测温仪表，精度级为1级，温度测量范围是0℃～1000℃，根据误差公式计算如下：

允许绝对误差＝±精度级%×（量程上限－量程下限）

＝±1%×（1000－0）＝±10℃

上式说明，这台仪表显示的温度数值偏离真实值（标准表示值）相差±10℃。即假如这台仪表现在显示值是500℃，那么，可以认为现在的实际温度是490℃～510℃范围内的某一值。可以肯定的是现在的实际温度就是在490℃～510℃范围内的某一点，但却无法肯定具体在这一范围内的哪一点。这就是仪表误差造成的结果（精度级别越高，测量误差越小）。试想，如果使用者通过各种途径将仪表的分辨率提高，让它指示为500.01258℃，这样的高分辨率读数有意义吗？很显然是毫无意义的。同时，由于改动了仪表内部电路来抬高分辨率，只怕其后果是还不及原来的精度级别。

妄想通过小数点后面保留多位数的高分辨率显示仪表来提高仪表的测量精度，显然是自欺欺人，这常常是不良商家玩的一种噱头——有心术不正之嫌疑！当然，精度高的仪表，其分辨率肯定要高，但够用即可。像允许误差为±0.9℃的测量仪表，如果不保留小数点后一位，将会直接影响到仪表的精度。

根据精度级与允许误差的计算公式可知：在精度级无法提高的情况下，可以通过调校测量仪表，缩小其测温范围，从而使得测量仪表的误差显著减小。比如在上例中，将仪表的测温范围缩小为0～100℃，那么，其测量误差将变为±1℃。当然，作为一台成品仪表，其测量范围也不是可以无限制缩小的。

二次仪表校准

工业用分体式测温仪的校准分为一次元件的校准与二次仪表的校准，其中，对于二次仪表的校准显得尤为重要，因为其内部电路既有可调元件，又有元器件老化的问题，在使用的过程中，常常会造成误差不断加大，相比之下作为一次元件由于没有可调部件，其性能相对稳定。下面以与热电偶配套的二次仪表——数显仪为例，说明一下与校准相关的事宜。

1. 二次仪表数显仪校准原理

图1是被校表误差曲线图。图中，A线为标准的零误差理想曲线，B线是正偏差界限线，C线为负偏差界限线，a线为误差曲线，b线为假设的零误差曲线。

当给定零点信号调试修正零位时，所调的零位电位器RPz实际上是“零位迁移”电位器（见图2），它是用来实现整体位移的，就如同图1中的误差曲线a经过RPz的向上调整（零位正迁移），从而得到整体向负向平移的曲线a1。由此可见，调零位并不影响仪表的测量范围，它只是起平移作用，使整个测量范围上移或下移。

当给定满度信号调试修正满度时，所调的满度电位器RPs实际上是测量范围“跨度“电位器（见图2），它的作用是实现整个测量范围跨度调整，就如同图1中假设的零误差曲线b经过RPs的向上调整（增加测量范围跨度），从而得到倾斜上翘的直线b1。由此可见，调满度对零位没有影响（对于零刻度非零起始的输入信号有稍微影响。如4～20mA输入信号时，调整满度对零位有微小影响），它只是用来缩小或扩大测量范围的。

2. 二次仪表数显仪校准步骤

表 1 为仪表校准报告，各单位的仪表校准报告（过去称“校验单”）虽然不尽相同，但至少涵盖如表 1 中的内容。

根据表 1 中的内容，用检定合格的标准表“特稳携式校验仪”（0.02 级）模拟热电偶信号输入给数显仪，将仪器

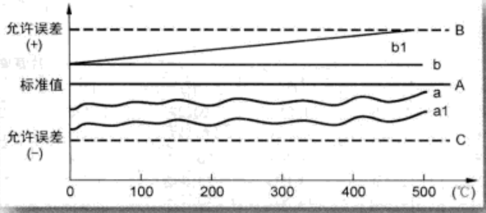


图1 被校表误差曲线图

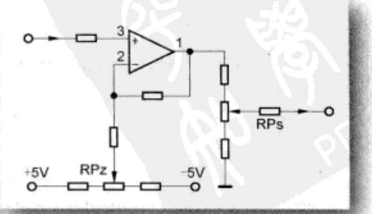


图2 零点满度调整回路

通电预热30min，并准备一支经过检定的水银温度计供测量室温用。房间环境应尽量恒温，比如，关闭门窗、风扇等。

(1) 查看仪表铭牌框，找到精度等级是0.5级，温度测量范围是0～500℃，所配用热电偶型号是K型。

(2) 根据规定5等分温度测量范围校准点（见表1），并根据表2数据查表填写对应校准点标准输入毫伏(mV)数，同时计算允许误差及允许变差填表。

允许绝对误差＝±精度级%×(量程上限－量程下限)

＝±0.5%×(20.640－0)＝±0.1032mV

根据此公式也可计算出温度值允许误差为±2.5℃。

根据变差的定义："变差也叫回程变差。机械传动类仪表由于有可动部件，往往会产生变差，规定其允许变差＝|允许绝对误差|，而对于无传动装置的电子电路类仪表则规定其允许变差＝1/2|允许绝对误差|。"可知，允许回程变差为0.0516mV，对应的温度值允许变差是1.25℃。

(3) 打（输入）信号逐点记录原始数据。

(4) 给定零点标准信号并调整图2中的RPz校准仪表零位。注意，因为配合热电偶测温的数显仪内部有室温补偿电路，所以，这里的零位信号就不是真正意义上的"0"了。怎么办？对于热电偶数显仪零位的校准必须反接输入室温标准信号。比如，标准水银温度计测得仪表背面接线端子处的室温为20℃，查表2得0.798mV，此时，我们必须输入－0.798mV给被校表（反接输入信号），然后细调RPz使仪表归零。同样，在校准其他各点时，都应用标准信号毫伏（mV）数减去0.798mV，包括原始数据的记录。

表1 仪表校准报告

仪表校准报告							
被校仪表	使用单位	泰山化工总厂苯装置					
	仪表名称	热电偶温度数显仪				位 号	TI058
	测量范围	0～500℃		精度等级	0.5	型 号	SXT101
标准仪器	仪器名称	特稳携式校验仪					
	信号范围	0.000～20.640mV		精度等级	0.02	型 号	JY821-K2
标准值		被校仪表原始值		被校仪表现示值		基本误差	
输 入	输 出	正 向	反 向	正 向	反 向	正 向	反 向
mV	℃	mV	mV	mV	mV	mV	mV
0	0	0.110	0.115	0	0	0	0
4.095	100	4.200	4.204	4.090	4.092	−0.005	−0.003
8.137	200	8.245	8.240	8.131	8.134	−0.006	−0.003
12.207	300	12.314	12.314	12.205	12.203	−0.002	−0.004
16.395	400	16.500	16.508	16.396	16.392	−0.003	−0.003
20.640	500	21.650	21.655	20.640	20.640	0	0
最大基本误差		−0.006mV		最大回程变差		0.003mV	
允许基本误差		±0.1032mV		允许回程变差		0.0516mV	
校准员	王 某	校准日期	2008.02.12		有效期限		结 论
检定员	李 某	检定日期	2008.02.15		2009.02.15		合 格
备 注	一次元件，K型热电偶；室温，20℃；仪表外观，良好						

(5) 给定满度标准信号并调整图2中的RPs校准仪表满度(俗称"量程"，有些不妥，称"量程上限"确切些)。

(6)反复调整零点及满度2～3次，并综合考虑其他各点的误差，直至合格。

(7) 校表并计算基本误差填表。例如，计算300℃点正向基本误差如下：

绝对误差（基本误差）＝测量值（被校表示值）－标准值

＝12.205－12.207＝－0.002mV

根据比例关系同样可以计算出此点的温度数值误差：

$$\because \frac{\text{温度测量范围}}{\text{对应mV数测量范围}}=\frac{-\text{温度误差}}{\text{对应mV数误差}}$$

$$\therefore \text{温度误差}=-\frac{(500-0)\times(-0.002)}{20.640-0}$$

≈0.048℃

注意：温度误差和对应毫伏（mV）数误差是反相的，因为在固定温度不变的情况下，如果mV数偏差是负数，那么，在固定mV数不变的情况下，温度偏差必然是正数。

这里的0.048℃代表着仪表显示的温度值比标准温度值偏高0.048℃，也就是在300℃这个温度测量点上，仪表显示的是300℃，而实际上应该是299.952℃。这是不是和前述的"精度级与分辨率"中的内容相矛盾呢？其实不然。这里的299.952℃之所以能被读出来，是因为有0.02级的标准表缘故，是用高精度标准表读出来的。如果离开了标准表，我们根本不可能知道它的真实温度就是299.952℃，而只能知道它的真实温度是在300±2.5℃范围内。

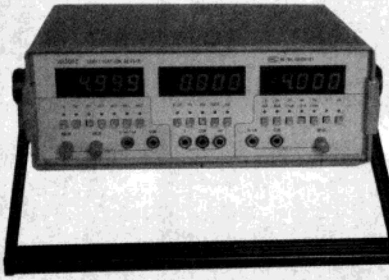
校准中的两点说明：

(1) 校准分为"调"和"校"，先调后校。"调"是指输入校准点标准信

表2 镍铬－镍硅（K）热电偶分度表部分数值

数值单位：mV 参考端（冷端）温度：0℃

℃	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0.000	0.397	0.798	1.203	1.611	2.022	2.436	2.850	3.266	3.681
100	4.095	4.508	4.919	5.327	5.733	6.137	6.539	6.939	7.338	7.737
200	8.137	8.537	8.938	9.341	9.745	10.151	10.560	10.969	11.381	11.793
300	12.207	12.623	13.039	13.456	13.874	14.292	14.712	15.132	15.552	15.974
400	16.395	16.818	17.241	17.664	18.088	18.513	18.938	19.363	19.788	20.214
500	20.640	21.066	21.493	21.919	22.346	22.772	23.198	23.624	24.050	24.476


综合校验仪

号，通过调整修正使仪表达到标准示值。比如，上述中的“调零”是指输入 −0.798mV 时，调整 RPz 使仪表示值准确地定在零位。在调试的过程中可以调过头再返回。而“校”则不同，比如，上述中的“校零”是指分别逐渐由小到大（正向）和由大到小（反向）输入 −0.798mV，并使得仪表示值逐渐逼近直至定位在零位。在调试的过程中是不可以调过头再返回的，否则，只能重新来过。表 1 中“被校仪表原始值”及“被校仪表现示值”都是指“校”表数据，而非“调”表数据。

(2)“测量值”及“标准值”。有人提出：表 1 中“被校仪表原始值”及“被校仪表现示值”都是从标准表“特稳携式校验仪”中读出的数值，怎么能说是“测量值”呢？“特稳携式校验仪”确实是标准表。正因为它是标准表，它较被校表精度高且分辨率强，所以，才用它来校准测量表（被校表）的。也就是用它的高精度、高分辨率读数来代替测量表的读数，并与标准（理想，零误差，即表 1 中的“标准值”下的“输入”栏）读数相比较得出被校表的误差。

热电偶校准

热电偶的校准只是校出其误差并确定其精度等级，它是没有“调”的余地的。通常将被校热偶与标准热偶对齐捆绑后，将热端（工作端）插入管式电炉的中心，将冷端（输出测量端）置于冰水混合物中。给电炉通电升温并恒温3个校准点（热偶校准较费时，通常做法是只选3个校准点，即满度点、中间点、下限点），用标准表（比如特稳携式校验仪）分别测出标准热偶及被校热偶输出毫伏（mV）数即可求出误差并算出精度。

另外，在由热电偶及热电偶温度数显仪组成的测温系统中，假如热电偶的精度是0.2级，误差是±0.2℃，数显仪的精度是0.5级，误差是±0.3℃。那么作为成套测温系统，它的精度及误差又是多少呢？根据均方根概念，精度是 $\sqrt{0.2^2+0.5^2}$ ≈0.5385，误差是± $\sqrt{(\pm0.2)^2+(\pm0.3)^2}$ ≈±0.361℃.这同样适用于一体化便携式测温仪。

业余调校

业余条件下欲想校准出一台合格的与热电偶配套的温度数显仪表来，其实施难度是可想而知的，因为，毕竟在业余条件下很难取得检定证书及标准表。业余调校是有别于规范校准的：业余调校重在实用，但这并不代表忽视安全，因为业余情况下所用测温仪都是“单打独斗”、“可知可控”，更何况调校总比不调强；而专业校准则不一样，专业校准重在安全，所用仪表都是“互相牵扯”、“牵一发而动全身”。因此，二者绝不能混为一谈。

业余调校方法都是一些业余条件下可行的实用办法。除“均匀误差法”可适用于专业校准外，其他都应剔除。

1. 均匀误差法

正常情况下调表都是将表的两头（零位和满度）调成零误差状态，然后再去校中间各点。如果发现中间点超差的，根据上述调试规律，就可以通过零位及满度的调整使超差点回到

高精密数字测温仪

误差范围内——虽然，此时的零位或满度偏离了零误差状态，但是，只要零位和满度不超差即可。从而起到均匀误差的作用。

2. 定点零差法

对于长年累月控制在某点上的温度仪表，可以缩小调校范围来减少测量误差。例如：控制在100℃的仪表，可以把100℃这个校准点调校成零误差——虽然其他点可能超差，但却保证了需要“点”的精确测量。当然，这里的零误差是相对于标准表来说的，它并不是理想的零误差。

3. 替代调校法

在没有合格标准表的情况下怎样业余调校热电偶温度数显仪？可以借助于热电偶进行0℃和100℃两点调校：用冰水混合物下的热偶输出替代0℃标准信号，用沸水下的热偶输出替代100℃标准信号，用家用水银温度计测试室温。此时，仪表的调校精度将主要取决于家用水银温度计自身的测量精度。因为热偶在正常使用情况下，其误差漂移是不会太大的，而且也没有“调”的余地。

4. 电池调校法

取一节电池，用高阻值电阻及电位器构成分压回路，用电位器抽头输出电压配合数字万用表作为调校用“标准”信号。因为热电偶温度数显仪输入阻抗都是高阻回路，在电池上不会引起多大的负载压降，电池的电压相对稳定。此法仪表调校精度主要取决于万用表的精度。

首届北京无线电广播爱好者联谊会圆满召开

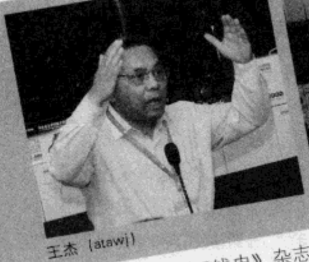
◎本刊记者　邓晨

在京城活跃着一个爱好无线电、爱好广播接收和收藏鉴赏收音机的群体，在2009年6月13日这个群体终于有了一个正式的“家”——“北京无线电广播爱好者联谊会”。

100多名爱好者聚集到人民邮电出版社的会议室里，首届北京无线电广播爱好者联谊成立大会隆重召开了，到会的不光是北京地区的爱好者，还有从广东，云南，上海，河北，山西和天津等省市专程赶来志喜的广播爱好者，火腿以及Hi-Fi音响爱好者等。

会议由联谊会筹备组召集人王杰（atawj）主持。联谊会成立的宗旨是本着开放和包容的原则，为爱好者及坛友们提供一个相识，结友，交流，提高的平台。联谊会要切实地为会员解决实际遇到的问题，开展形式多样，内容丰富的活动。像针对大家修机，藏机中遇到的问题，举办专题会诊，由专家现场答疑解惑，共同交流，提高。

联谊会与《无线电》杂志建立长期互动工作关系，各展所长，组织不同专题，深入浅出的文章。


王杰（atawj）

黄彤

覃信刚

霍定洪（我是港人）

邱健球（河泊）

梁伟（b2000）

《无线电》杂志主编黄彤先生、云南人民广播电台覃信刚台长、世界华人无线电协会会长霍定洪先生（我是港人）、中山收音机博物馆荣誉馆长丘健球先生（河泊）、德生公司总经理梁伟（b2000)等，都分别发表了热情洋溢的贺词。

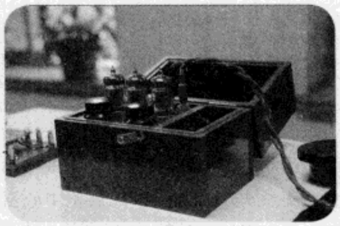
许多参会的爱好者，就他们对联谊会的期望，不拘形式地即席做了发言，气氛非常活跃。特别是73岁高龄的中国无线电协会元老，著名火腿樊绍民（呼号BA1EO)老先生的一席话，表达了老一辈爱好者对后辈的谆谆希冀，令人感动。

随着抽奖活动的开始，会议气氛达到高潮。德生公司为此次活动特别赞助了几十台不同型号的收音机和天线，《无线电》杂志也赞助了几十台收音机作为纪念品。随着一台台奖品找到自己的主人，一声声喝好此起彼伏，热闹非常。

在与会大家的一致同意声中，北京无线电广播爱好者联谊会正式宣布成立。由《无线电》杂志主编黄彤和世华无线电协会会长霍定洪先生共同为联谊会揭幕，会场响起热烈的掌声。

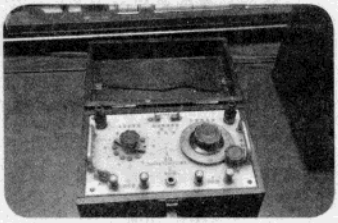
抽奖活动结束后，会议进入尾声自由活动时间。新老朋友边聊天，边围在与会者携来展示的收音机前，观摩把玩。展示的机器有1925年的古董美国机，有根德，德律风根经典电子管机，也有松下的晶体管收音机皇RF-9000和索尼230等名机，美不胜收。

德律风根OPUS 7电子管收音机



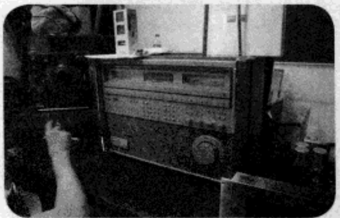
爱好者自制电子管收音机

1925年的美国古董机



1941产矿石收音机

根德TK-64电子管开盘录音机



松下晶体管收音机皇RF-9000

海联谊会代表吴俊东

外地赴京的爱好者举匾祝贺

热烈的场面

直接聆听读者之声

不仅只有电台和天线 无线电爱好者的展会

——我眼中的上海国际业余无线电节

◎张峥（BG8SF）

"听万象，知HAM，通全球，呼天地"，由上海市体育总会、上海市对外文化交流协会主办，上海无线电运动协会协办的2009年上海国际业余无线电节在上海国际展览中心召开。对于笔者，这是一次期盼已久的盛会。近年来，作为一名热心各种活动的火腿，笔者多次参加各地业余无线电爱好者活动，从2007年广州HAM聚会到2009年成都五五节，领略了大江南北业余无线电爱好者的风采，这次上海国际业余无线电节自然也不会放过。

无线电设备展览

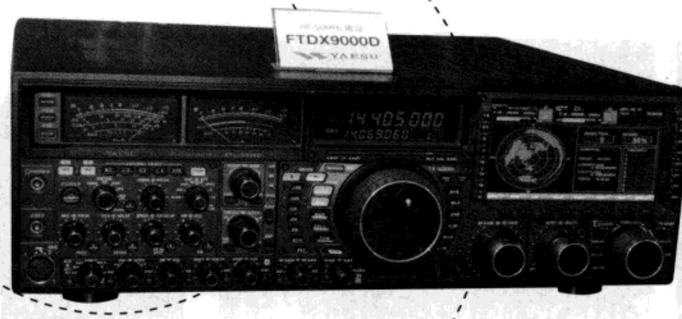
无线电设备的展览是本次展会的重点。虽然展会上没有爱好者们所期望的新品发布，更多的是已有成熟产品的展示，但这个机会让到场的爱好者能近距离地接触到平时图片上看过千百遍的实体真机，并能体验实际操作的快感。

面积最大并占据主要位置的展位是大家所熟悉的日本YAESU和ICOM品牌。ICOM组织了抽奖活动，并不失时机地进行现场特价促销预订，吸引了大批的参观者。不少爱好者在现场签约订单，以非常优惠的价格获得了ICOM的促销产品。下午的展会还没结束，笔者就看到爱好者们已经拿到上午预订的各式电台和天线高兴地离开了。

与ICOM的展台相比，YAESU显得非常低调，展会就是产品的展示，没有进行现场的销售和其他宣传活动。更多爱好者来到展区所求的是亲手把玩一下平时难得接触到的各种机器设备。最引人注目的是超级豪华的FTDX9000。与其他机器相比，它显得稳重厚实。单一个MD－200的话筒价格就不是一般爱好者所能承受的，7寸的液晶显示屏可以直接显示通联日志和对应显示世界地图的UTC时间，还可以显示接收的SSTV图像。

ALINCO在展会上展出了号称口袋

MD－200话筒



YEASU的FTDX9000D

机的DJ-C7，其厚度仅有14.5mm，标称的外观体积和重量均小于号称世界最小的YAESU双段业余机VX-2R。拿在手中的感觉不错，夏天放在衬衣口袋中很合适。只是发射功率偏小，用电池供电时300mW，外接6V电源供电时500mW。喜欢袖珍机型的HAM挺值得一用。如果只考虑接收的话，DJ-X3/X7也具有小巧轻便的特点，与VX-2R一样，只能工作于FM/AM/WFM，缺少业余无线电常用的SSB模式。对于只想在HF短波段 “拿话筒”工作的聊天者而

DJ–C7

新维ADSP消噪音箱

言，ALINCO的DX-801可以作为选择的对象。体积重量与YAESU FT-857相当。最大的特点是其所谓的“专业机”特点，按键旋钮少，不显示频率，直接显示频道，这一点非常适合嫌调整操作麻烦的爱好者。

钻石天线可以算是展会上人气最旺的展区了。参观者排起长长的队伍登记领取CQ分区图。展区内塞满了看天线的爱好者，大小长短、U/V/HF各波段天线挂满了一墙。笔者看到一个叫做导电板，型号为MAT50的玩意儿。据介绍，在汽车上安装车载天线没有接地条件时，把这个吸附在天线底座，可以改善天线效率的装置。产品指标标称只能工作在7~50MHz，工作人员介绍，如果工作在3.5MHz的话，需要连接两块导电板。笔者猜测，其原理是一块性能很好的导体通过增大天线地线端与车体外壳安装时的接触面积，加大分布电容，从而改善天线的高频接地性能。

北京新维科麦公司展会上带来了AV-8万用短波车载天线、AP20野外快速架设天线和澳大利亚的宝丽数字短波电台。专业天线产品的结构件、接头和振子导体材料用得很好、很厚实，也比较美观，就是价格不太能让普通业余无线电爱好者承受。宝丽数字电台2050的分体台机和2040背负机做工非常扎实，满足苛刻的军用标准。工作人员介绍，发射功放末级采取“双推双挽”的工作方式，号

宝丽2040

GRE的PSR–200E

称是“不会坏的电台”。操作面板很简洁，手感不错，缺点就一个字：“贵”。该公司在展会上展出的ADSP数字化消噪音箱是个不错的设备，老的短波机加上它，就具有DSP功能了，是火腿们升级器材的好选择。

来自中国台湾地区的稳特固带来了不少型号的对讲机，不过吸引爱好者的还是它的GPS定位类产品。特别受关注的是WGT-168，带GPS的“肩咪”。叫“肩咪”非常恰当，因为和普通手咪比，这个话筒显得很大，能赶上一个手持对讲机的大小。内建的电子指北针、轨迹记录器、G-TALK应用等功能非常便于玩APRS的爱好者使用。对业余玩家最大的缺憾是，它的位置信息内容传递没有公开协议，APRS的双方只能用该公司的硬件设备进行解调。除了价格外，可能这个技术不开放的因素将是制约它在爱好者中普及的最大障碍。

日本GRE参展带来了为数不多的几款设备，比较受关注的是PSR-200E扫描接收机。样子扁扁的，外观工艺很不错。接收频率分两段：

BA1HAM在作讲座

BG1WXD在介绍《无线电》杂志

26~174MHz、380~512MHz，接收模式不带SSB，很显然不是专门针对业余玩家设计的产品，但对收听调频广播的爱好者来说倒是很不错的选择。

专题论坛讲座

与同时开展的模型展览不同，无线电展区专门开辟了可以容纳近百人的区域开展专题论坛讲座，内容围绕参展的产品进行专题的推介和讲解。BA1HAM代表CRSA（中国无线电运动协会）进行了发言，向听众通俗地讲解了一些关于业余无线电活动的基本认识，并提出了建立业余无线电短波应急通信系统的倡议。其他演讲嘉宾分别向听众介绍了ARPS(自动位置报告系统)、业余无线电应急通信和“车腿”们的无线电应用等内容。作为展会的媒体推广和支持单位之一的《无线电》杂志的主编黄彤（BG1WXD）在短短30多分钟的时间里，和听众们一起探讨关于业余爱好与职业选择的问题，也给读者们透露了中文版ARRL系列丛书的最新进展。

广播设备收藏展览

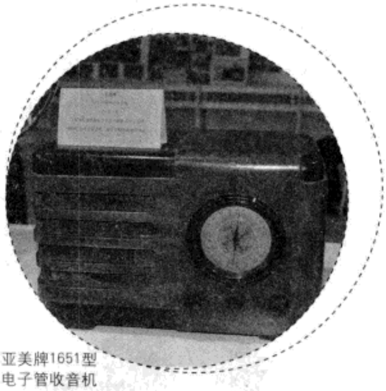
借着业余无线电展览的人气，在论坛会场的旁边还进行着广播电视收音机收藏展览。上海的广播爱好者张明律先生展出了自己收藏的国内外各时期生产的经典广播电视设备，这些设备藏品中有笔者小时候看过的星火牌9寸的晶体管黑白电视机、听过的三洋四扬声器单卡收录机和红灯牌两波段电子管收音机、用过的松下盒式砖头录音机等。有很多没见过的更早期的美国RCA公司的产品：“墓碑式”坐式电子管机，交流、直流、干电池供电的三用收音机，电池供电的“开口笑”电子管收音机。还有更多国产的各个时期的电子管收音机。

展品中还有收音机爱好者自己DIY的矿石收音机。“全裸”式的电路结构，内部的连线呈现得一清二楚。指针式的表头可以直观指示信号接收场强。制作工艺复杂的“花篮”线圈以特殊的绕制方法，既保证了接收回路足够的电感量，又提高了Q值降低分布电容参数，对无源的矿石机性能提高带来很大帮助。

参展服务商

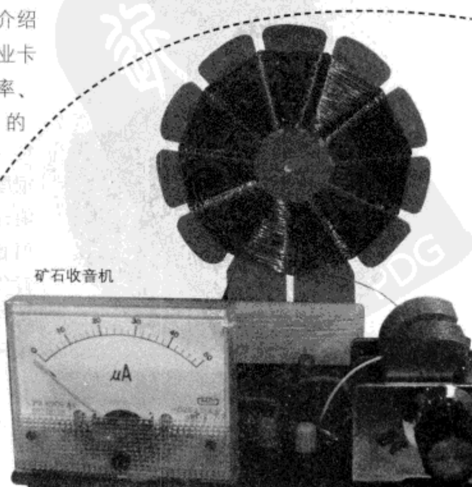
与众多产品产商展览“能看能摸”的硬件不同，“QRZ中国”展位展示的却是可以看样例，但是“摸不着”的服务。该参展商向参观者介绍了如何印制QSL卡片、如何通过专业卡片交换管理局交换卡片以提高效率、节省成本。细细看过“QRZ中国”的看片样例展板，笔者发现，QSL卡片不再仅是单纯的通联凭证，而逐步变成融入了更多文化内容的载体工具。众多的卡片反映了拥有者的性格、爱好、理想、回忆以及其所在地区社会的文化背景等内容。通过这些卡片的传递，业余无线电扩大了它文化交流的功能，也让分布在世界各地的卡片接收者通过更多的卡片信息内容来了解对方国家的文化背景，真正起到了世界各国爱好者间加深了解、促进交流的作用。

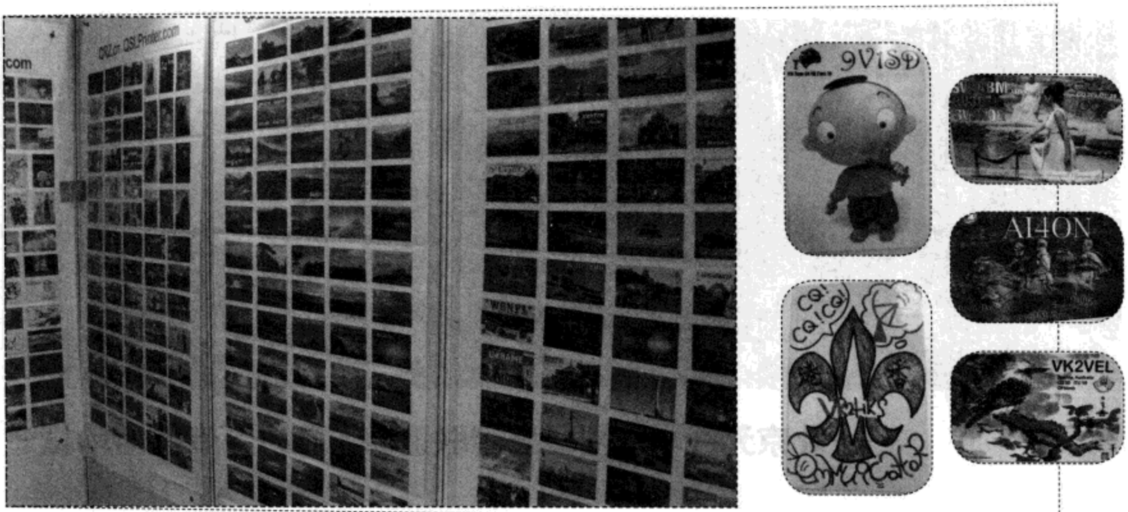
稳特固WT-168



亚美牌1651型
电子管收音机

矿石收音机



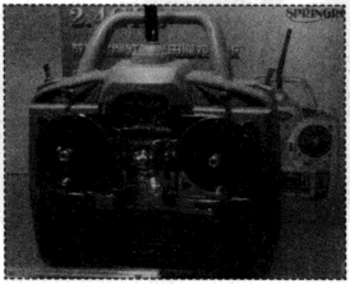


丰富多彩的QSL卡片

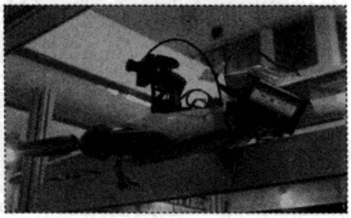
额外的收获——国际模型展览

笔者本来是为了国际业余无线电节从昆明来到上海的，到了展会才发现，收获的不仅仅是“业余无线电”，还有精彩的模型世界。其实，动态模型运动从来就与无线电技术不分家：远距离操纵模型唯一的办法是无线电遥控。上海国际展览中心展区内同期举办的是上海国际模型展。

经过10多年的发展，无线电遥控频率已经从20MHz、30MHz普及提高到70MHz，又发展到315MHz和400MHz。更多的模型目前共同使用已经开始普及的2.4GHz频段，这大大扩展了遥控的频率带宽。遥控技术也从单通道发展到两通道、四通道和现在普及的8~12通道。调制方式从模拟音频振荡、PCM脉冲调制发展到现在全数字的全比例遥控。展会上的展示各式模型使用的无线电遥控器向数字化、多通道、高载频等特点的方向发展。


多通道比例式航模遥控器

航模电机


带遥控摄像头的飞机模型

精致的模型

随着电子技术的发展，模型用电动机出现大量大功率、小体积、小重量的产品，配套电池也有大电流放电、容量大、体积小、重量轻等指标的改善。从整个展会来看，电力驱动的模型无论在数量和品种上远多余内燃机驱动的模型。各种大中型的直升机模型用电力驱动已经非常成熟与普及。新近出现的所谓KT板飞机，结构简单，基本不需要专门的翼型截面结构，完全靠电力驱动就获得很高的推重比，可以轻易完成无滑跑起飞、无跑道降落、垂直爬升等动作。其操作简单、成本低的特点大大降低了航模入门的门槛，吸引更多爱好者加入航模运动行列。

这次上海国际业余无线电节是国内高规格业余无线电产品的展示会。除了展示产品外，更重要的作用是搭建了一个国际化的交流平台，促进国内业余无线电的交流，对提高国内整体业余无线电的水平很有帮助。虽然展会规模有限，但它毕竟开了一个好头，希望这样的展会能够持续开展并且越办越大。

——北京无线电广播爱好者联谊会“牡丹”专题活动报道

◎本刊记者 邓晨

2009年7月的第一个周末，在《无线电》杂志社的会议室，北京无线电广播爱好者联谊会举办了一个以畅谈“牡丹”收音机为主题的活动，“牡丹”收音机是由北京无线电厂生产的，其产品驰名国内外，郭沫若亲笔为“牡丹”商标题字。在会议室的主席台上有一个长7米、宽2.4米的彩喷宣传板，上面醒目地印着“牡丹香犹在 难忘育花人”，这就是这次联谊会的主题，下面我们跟随本刊记者及各参会代表的精彩镜头对这次活动进行简单地报道。

育花人谈“牡丹”

联谊会主持人王杰

北京无线电厂战略发展投资部部长张崇义

北京无线电厂老厂长阴寿琪讲述建厂的往事

北京无线电厂品牌及企业文化负责人沈方讲述“牡丹”厂50年建厂史

北京无线电厂老工程师严毅

《无线电》杂志老主编赵大和

北京无线电厂老工程师华旭旦

为了深入了解"牡丹"收音机，联谊会邀请了北京无线电厂建厂奠基人之一（1955年成立的建厂筹备组4人成员之一）荫寿琪先生、曾参加过"牡丹"收音机设计的总工程师严毅、华旭旦及现任北京无线电厂的领导沈方和张崇义。《无线电》杂志的老主编赵大和也应邀来座谈。

北京无线电厂品牌及企业文化负责人沈方和老厂长荫寿琪系统地介绍了北京无线电厂的发展历史，讲述了许多不为人知的故事。该厂总工程师俞锡良先生因身体情况未能亲自出席联谊会，沈方先生在会上宣读俞锡良先生给大家的信。

联谊会的大合影

会上亮相的"牡丹"精品

牡丹1201型12灯5波段落地收音、电唱两用电子管收音机，收藏者：tom33。

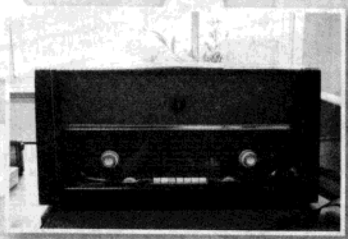
该机1959年10月生产，具有声控电源开关和带钻石针唱头的四速唱机，曾被国家领导人作为礼品送给国外领导人。

"牡丹"611型6灯2波段电子管台式收音机，收藏者：冰咖啡

该机50年代末生产，仅生产了100多台，而且是作为出口机。该机的"牡丹"商标是用国宝景泰兰工艺和材料制作的，可见多么珍贵。

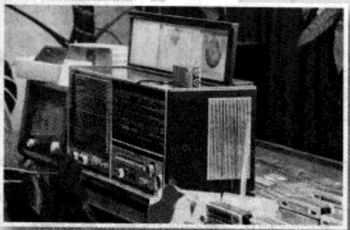
"牡丹"911电子管台式收音机，收藏者：冰咖啡

该机1958年设计生产，它造形美观、音质浑厚动听，深受用户推崇，成为那个年代的时尚产品。



"牡丹"2241型22管全波段一级台式收音机，收藏者：小北京

该机1974年8月生产，这是一款高性能一级台式收音机，总工程师严毅先生是该机的主要设计师。该机由北无试制工段生产了400台，此后并没有在流水线批量生产。2241面市时的价格为1700元左右，主要为专业单位和高级宾馆饭店提供。且不说当时的1700元天价普通百姓能否承受，就是有个别高烧者凑足1700块也无处购买。当时参与试制一级台式机的全国共有8家，即北京无线电厂、天津2家，上海3家、南京1家、武汉1家。后来这8家的产品由电子部组织测评，"牡丹"2241荣获第一。爱好者称2241为"牡丹"晶体管机王。



严毅老先生还详细地介绍了当时设计2241的一些细节，2241的频率划分参考了根德的机型，其他都是自行设计。受当时条件限制，2241没有采用二次变频，而采用了加高放的设计，主要是那个时候晶体振荡器受严格管制。

设计者为在场的收藏机签名留念

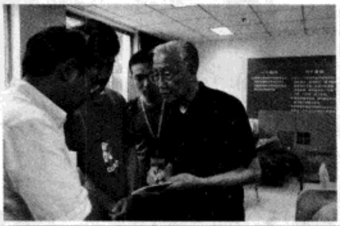
联谊会原计划下午4点结束，但是进行到下午6点，大家还意犹未尽，谈兴正浓。考虑到几位老前辈年事已高，坚持了那么长时间不容易，我们才恋恋不舍地结束了活动。这次联谊会共来了40多人，不光是北京的爱好者，还有从深圳远道而来的极典公司总经理曾德钧先生。

这是真正的爱好者的聚会，谈论的都是爱好者们关注的话题。曾德钧先生说得好，为一个品牌举办一次专门的座谈，这还是第一次。

“牡丹”有资格让爱好者们举办这样一次独一无二的聚会。

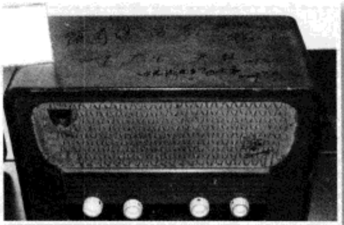
北京无线电厂老厂长阴寿琪现场为收音机签字

阴寿琪为珍贵的“牡丹”611签名


北京无线电厂老工程师华旭旦为爱好者签名和答疑

严毅先生给他主持设计的2241型收音机签名

已签名的2241型收音机


已签名的611型收音机

到会爱好者带来的众多“牡丹”收音机

DIY微功耗基础无线网络

◎吴线

一个DIY 老兵的心愿

记得和无线电第一次亲密的接触，还是40多年前的事情，那时我还在孩童时代，课余时自己动手第一次学装收音机，买来各种零件，虽然还不能明白其中的原理，甚至也搞不清楚零件的用途，只知道长长的那个叫“磁棒”，可以调节那个玻璃管叫“矿石”，还要个可以旋转金属部件的叫“可变电容器”，我将这些零件，按接线办法（那时不懂什么是电路原理图）连接在一起，居然做成了一台自己的收音机，接上电池，拉上长长的天线，我居然成功了，接收到了来自远方的广播电台的广播……当我聆听着这由无线电波传输的声音时，真是如痴如醉，感到这个自己组装的小盒子是那样的神秘，那么深奥，那么广阔……

后来我和千百万那个时代的青年一样，经历了上山下乡，回城就业，上大学等类似的人生历程，也只好暂时告别了和无线电的那段情缘。

当我大学毕业后，被分配到一家大型国营电子研究所工作，已经是20多年前的事情，那时微处理器（单片机）技术还不普及，我开始了自己学习单片机和采用单片机进行设计工作的艰辛学习和实践的历程。虽然单片机（微处理器）那时和无线电好像还没有直接关系，但是动手去做硬件电路，设计电路板，开发单片机软件代码，仍然应该是在DIY的范围（目前《无线电》杂志也介绍了很多单片机DIY的内容），事实上我又回到了和无线电的情缘之中。

那时单片机的资料很贫乏，也没有互联网，我本人也很“贫困”，买不起昂贵的技术书籍，只好经常偷偷在书店中用笔抄录相关重要技术资料，引来不少店员的“白眼”。在和单片机打交道的日日夜夜，我被单片机技术高深的背景和巨大的应用前景所吸引，并且为此付出了近似狂热的努力。我常常通宵奋战，为了一个新的电路设计或者为了排除一个软件代码的漏洞，经常在机房和实验室席地而眠……从入门到精通，在经历许多失败和挫折后，我也迎来了职业生涯的丰收时期。我亲手将小小的单片机安装到了生产车间，对巨大的加热炉进行精确的温度自动控制，也亲手将小小的单片机设计到新一代智能仪器中，成为新一代数字仪表的心脏。我的一次又一次的设计实践，和电子爱好者们的DIY实践和实战，没有本质的区别，不断实践，不断学习，不断创新，正是DIY的灵魂！

弹指一挥间，几十年过去了。无论是做一个高级电子工程师，高级技术管理人员，还是在大洋彼岸和异国他乡留学学习，在世界一流无线通信和嵌入式设计企业就职和从事研究工作，还是在回国创立高科技企业，在市场经济中拼搏……我都没有忘记关注《无线电》，也没有忘记自己是如何从DIY开始，一步一步学习成长、充满艰辛和愉快的里程，总是希望能有一天，能为DIY做些什么，能为广大电子爱好者做些什么……

拉一家工厂来“入伙”我们DIY

《无线电》杂志，是国内DIY的旗帜，覆盖范围越来越广泛。但是技术发展，也在不断开拓自己更大的领域，仅仅就新兴的无线通信领域而言，就有模拟广播、数字广播、数字通信、无线网络、卫星通信、业余无线通信等领域。在互联网技术高速发展的同时，最近几年短距离微功耗无线通信、个人区域网络、无线传感器网络等新兴技术异军突起、高速发展，涌现出一大批新的技术，包括ZigBee、蓝牙、Wi-Fi等，也涌现出很多使用这些技术的成功产品，如日本任天堂公司最新的风靡全球的Wii无线遥控动作游戏机等。这样的新技术和产品的出现，必将改变我们的生活。无线无处不在，它将必然给无线电这个名词，带来新的含义，也必然将影响到电子DIY的生态。

为什么在这些新兴无线技术发展热火朝天的时候，我们DIY市场对这些新技术却如此冷漠？我个人认为主要原因是：

1. 高频设计，特别是高达2.4GHz的高频设计，需要更多的专业知识。

2. 零件愈来愈小，像QFN、LGA等微型封装的零件，0402/0201封装的电阻、电容、电感等元件，都只有在显微镜下才能看清楚，已经不能或者很难使用普通焊接工具自己手工焊接，而无线网络要求必需进行这样的封装。

3. 软件设计更加复杂，特别是无线网络协议栈、抗干扰、抗冲突、自组织、路由算法、低功耗等，涉及更多高级的技术知识和经验。

无线网络需要实现多个微控制器件（几个到几千个），通过无线连接，实现组网工作，和目前主要采用一个单片机，控制外围的DIY，有本质区别，也更加困难。

DIY 微功耗基础无线网络

图1 DIYRF-2510套件

我认为DIY需要向高智慧化方向发展，**从自己拿烙铁将一堆零散的零件焊接组装到一起，逐步过渡到由专业化工厂专门根据DIY的特点设计生产硬件套件，然后让广大电子爱好者集中在软件开发上进行DIY，进行创造性的、个性化的设计。**

这是因为以单片机和微控制器为核心的新一代电子技术，核心是单片机软件，是以C语言为核心的嵌入式软件设计，在这个方面，可以最大限度地发挥我们人类的智慧，描绘出五彩斑斓的软件世界，给专业化生产的DIY的硬件注入新的灵魂，开发出各种各样的应用，这个改变，是电子DIY的一次创新，将带领DIY进入一个全新的境界。

那么，有没有专业工厂和公司愿意来为我们这些电子爱好者开这样一个头？不仅要质量好，而且要价格低到人人都可以买得起，显然不是赚大钱的事情。

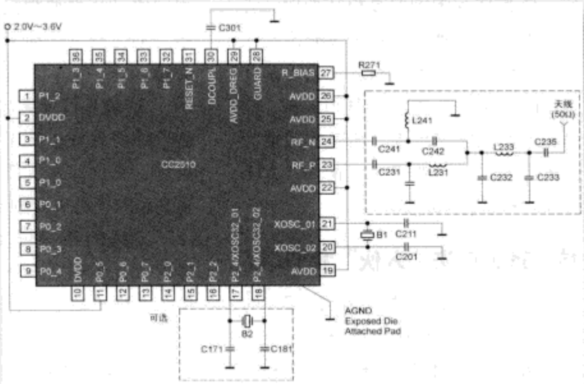


图2 CC2510无线单片机电路原理

我制定了一个计划，要将最新的低功耗无线网络、ZigBee无线网络、低功耗蓝牙网络、低功耗Wi-Fi网络等等最新技术，都做成可以DIY的套件，不仅要具有强大的直观演示能力和强大软件功能，而且容易使用，价格也要低于目前市场上的单片机开发系统，让大家都买得起。

我和成都无线龙通讯科技有限公司的工程师们商议了这个计划，他们非常支持我的想法。这家公司成立了4年多，由一批朝气蓬勃的年轻工程师团队组成，4年来他们其实一直在DIY这个领域，他们提出了“无线单片机”的概念，希望能够将无线网络技术从大公司的实验室里解放出来，成为每个电子工程师和单片机爱好者自己掌握的技术。他们和北京航空航天大学合作，已经正式出版和发行了9本共约五百万字的《无线单片机丛书》（全国的书店和网上书店都可以容易买到）。更重要的，他们有自己的生产车间，有高精密SMT自动生产线，包括激光定位、视觉定位等功能，专业大量生产高精度无线应用产品和无线模块。

说干就干，设计硬件、开发软件、准备生产，一个月奋战，这套低功耗基础无线网络DIY套件——DIYRF-2510就摆在我们面前，如图1所示。

这套系统可能和目前市场上的DIY系统完全不同，包含了三个功能：

1. 普通8051单片机学习功能，DIYRF-2510系统包括一个类似JTAG功能的非入侵式高级在线仿真器，在不占用单片机任何资源的前提下，实现软件下载，单步，断点和在C语言水平下实时调试功能，支持功能强大的IAR电子平台C51编译，调试环境。

2. 全功能基础低功耗无线网络功能展示和测试。

3. SimpliciTI无线基础网络软件协议栈学习和开发功能，包括协议栈源代码和表演软件代码，DIYRF-2510系统由一个无线网关（兼作单片机在线仿真器），两个无线节点，节点上有最新传感器和按键，显示功能，系统全部工作在2.4GHz全球免执照频段。

更大的惊喜是DIYRF-2510无线节

图3 SimpliciTI 的网络拓扑

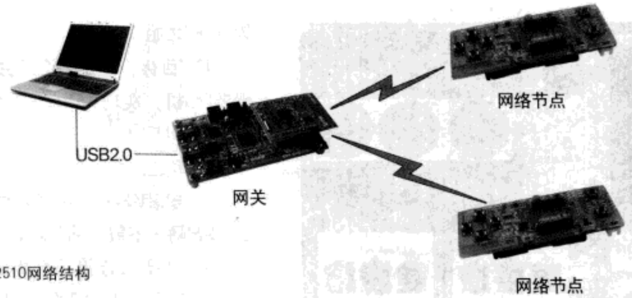


图4 DIYRF–2510网络结构

图5 DIY SimpliciTI无线网络

点和网关板上，都有一个无线模块扩展插座，在插座上扩展出对应的无线模块，就可以容易升级到更高级的无线网络DIY，例如我们下一个专题：DIY ZigBee网络。同时用同样方法，我们也可以容易升级到我们陆续推出微功耗Wi-Fi、蓝牙 DIY专题。

大家可能会问，这样一套高级的无线和单片机开发系统，我们买得起吗？回答是：全套系统零售价仅仅为395元人民币！读者到www.DIYRF.com就可以很容易买到。我看到《无线电》今年第6期某公司一套8051单片机开发系统报价也在585元，我们足足便宜了近200元人民币。

为什么这样廉价，是因为我们拉了一家工厂来“入伙”，充分利用他们的生产能力和零件批量采购能力。我们和一家工厂和高科技公司一起，将DIY进行到底。

目前万事俱备，让我们装上电池，连上USB电缆，开始我们在无线世界的翱翔……

出发前，先热身，学点基础知识

在我们出发准备畅游无线网络世界前，我们需要先简单了解一下相关无线网络的基础。

简单而言，最基本的无线网络是由无线节点和网关（也称 AP）通过无线电波互联组成，而无线网关和节点的最基本组成单元是单片机加上无线收发芯片。随着技术进步，单片机和无线收发芯片被集成到一个芯片中，这个芯片简称为无线片上系统（SoC），我们也简称其为无线单片机。DIYRF-2510 中，使用的是美国 TI 公司生产的 CC2510 无线单片机，该单片机由一个高性能的 8051 微控制器和一个 2.4GHz 的无线收发器集成组成，功能强大，价格低廉，芯片原理如图 2 所示。

无线节点和节点间，无线节点和无线网关间，要进行无线网络通信，必然需要一个大家都明白的通信规范和约定，这就是无线通信的协议。DIYRF-2510中使用的无线通信协议是免费的SimpliciTI 通信协议，协议非常小，只占了CC2510无线单片机32K字节闪存中的 1/4，大约8K字节。

网络间连接的结构，称为网络拓扑（NETWORK TOPOLOGY），SimpliciTI 通信协议是一种入门级别的通信协议，只支持基本的星状拓扑，SimpliciTI 的网络拓扑如图3所示。

DIYRF-2510构架的低功耗无线网络结构图如图4所示。一根USB电缆，连接网关节点到PC机，将网关通过无线网络获得的信息或者PC发出的命令，通过无线网络传输到节点。

无线节点板采用标准AAA电池供电，通过网络协议，以自组织方式加入网络，实现将传感器数据和操作信号，通过无线网络传输给无线网关(GATEWAY)。

出发上路，体验无线网络的魅力

首先你需要安装无线龙DIYRF PC

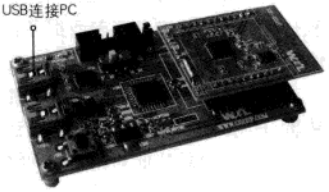


图6 连接你的网关到PC(USB)

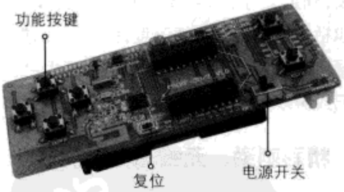


图8 启动你的无线节点

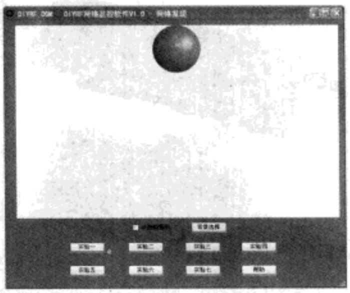


图7 网关节点在屏幕中

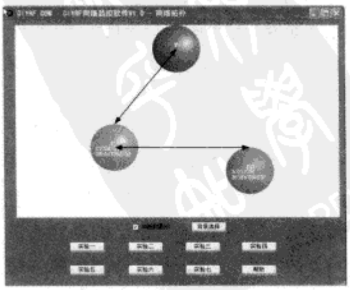


图9 看到你的无线网络中的全部节点

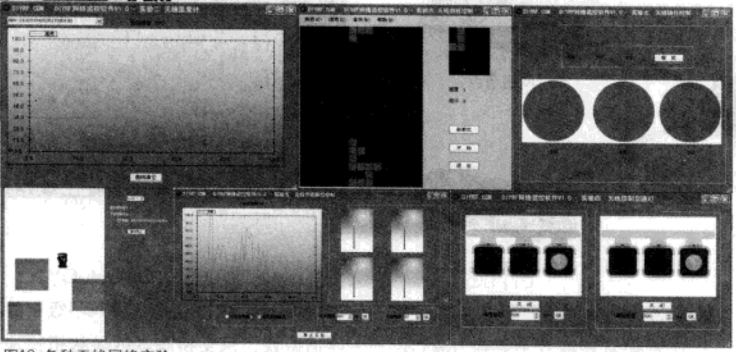


图10 各种无线网络实验

监控软件，这非常容易，按照说明书的安装流程，很容易就完成了安装，你运行DIYRF 软件，PC会出现图5所示的欢迎图画。

然后从这里将USB电缆接入PC机USB接口，见图6。

点击开始，软件自动会搜索，网关的接口，然后出现图7所示的画面。

如图8所示，安装你的无线节点的电池，然后打开电池开关到ON，设定DIP开关在全部关闭－000，你可以看见图9所示的画面。

然后你对照说明书，改变 PC 屏幕上的实验功能和无线节点上的 DIP 开关，确定进行下面丰富多彩的各种实验，包括无线门铃、无线温度计、无线遥控器、无线红绿灯、无线节能路灯控制、无线游戏摇杆等，如图 10 所示。

精彩刺激，无线动作遥控器

加速度传感器是最新的动作监控传感器，具有广阔的应用前景，图11是加速度传感器的一些应用领域。

著名游戏机厂家任天堂公司，采用加速度传感器和无线技术，实现了电子游戏的无线动作传感器，推出了轰动世界的Wii游戏机，DIYRF-2510无线节点板采用最新MMA7660FC加速度传感器，让你体验将自己的动作传感到无线节点，然后通过基础无线网络传输到PC，实现精彩刺激的动作游戏见图12，同时让你具有了开发无线加速度传感器应用的可能性。

心动不如行动，自己动手做个最简单的无线网络应用软件

看了这些激动人心的应用，可能你会心情激动，希望自己也来动动手，看看自己能不能通过改写软件，实现对低功耗无线网络的控制，DIYRF-2510为你提供了这样的无限可能。

对于已经熟悉8051系列单片机和C51语言的爱好者，可以直接上手下面的实验（对于还不熟悉单片机的爱好者，仍然可以使用系统，从头开始学习8051单片机和C语言，但是你需要入门教材和实验，好在这些东西都可以很快在网络上找到）。

对于已经有单片机和C语言的，并且熟悉IAR调试编译工具的爱好者，让我们开始一个简单的低功耗无线网络软件DIY之旅。

DIY目标，使用两个无线节点，不需要PC机，实现相互遥控对方的节点板上的小灯。

步骤是：

1. 安装IAR C51编译软件（需要自己到IAR网站下载评估版本）。

2. 按图13连接仿真器到PC USB口，注意这次是不同的USB接口。

3. 根据需要将仿真器分别连接两个无线节点板，进行下载和调试，首先进行第1号节点，作为AP使用。

4. 打开工程文件DIYRFS1.PRJ，见图14。

5. 你可以在C语言源代码中，

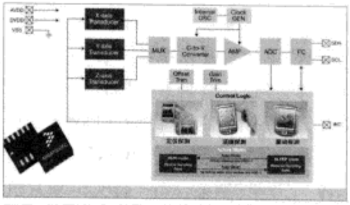


图11 加速度传感器电路原理和应用

图12 精彩刺激的动作游戏，使用DIYRF-510可以实现！

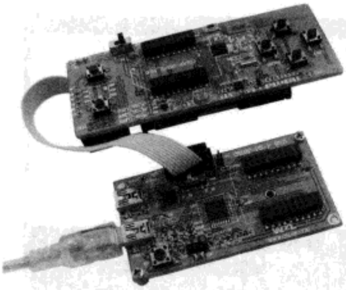


图13 连接仿真器到PC USB 口

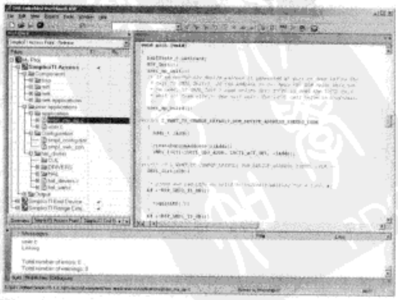


图14 IAR平台 DIYRF工程文件和源代码

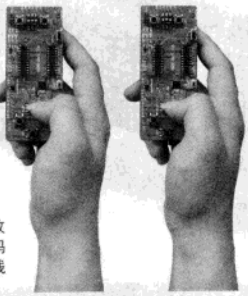


图15 自己改动软件代码后，实现无线网络遥控功能

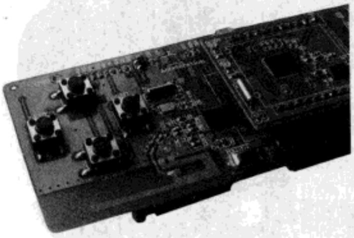


图16 升级后ZigBee无线传感器网络节点

修改和定义你使用无线节点上那个按键发射（也可以做你自己的任何修改），然后继续编译，如果提示正确，说明你成功完成编译。

6. 点击下载（注意当你点击这个键，DIYRF－2510中预先固化表演代码，会完全丢失，如果你需要恢复，可以使用光盘中下载工具，下载HEX代码，恢复表演代码）。

7. 退出下载。

8. 按启动（RESET）开始运行。

9. 仿真电缆连接，2号节点定义为ED(终端节点)，然后重复第3～8步。

10. 按下1号节点上你在软件中定义的按键，对方相应的灯会亮，再重复一次，对方灯会熄灭，2号也有相同功能。

11. 完成了一个简单的采用软件修改，实现新的功能，见图15。

从这里出发，你可以采用软件DIY实现各种高级的功能，如1号板监视温度传感器变化，让无线网络连接2号板远程监视温度变化。又如可以将2号板固定到你的笔记本电脑上，监视加速度传感器，如果有任何移动，2号板通过无线网络，向1号板发出报警信号（LED闪烁等）。你也可以在LED控制线上并接蜂鸣器等进行声音报警，实现笔记本电脑和贵重物品高级无线防盗功能，又如，可以继续增加购买无线节点板，自己建设更复杂的多节点无线传感器网络（SimpliciTI 单个网络最大可以支持255个节点）……总之，DIYRF-2510提供了许多可能，只要发挥你的智慧，可以变幻出无穷无尽的软件代码和算法，在广阔的无线世界，天高任鸟飞，海阔凭鱼跃！

还愿之旅刚刚启程，期待更多精彩

写到这里，这期特别策划将告一段落，也不知道我的还愿之旅的第一步大家是否满意，是得到鲜花，还是臭鸡蛋？欢迎大家给我来信（c51rf@126.com），我希望，这只是一个开头。

2009年第10期，我们的题目是：《入门 ZigBee 无线传感器网络》。

大家知道ZigBee无线传感器网络技术，是一项建立在 IEEE802.15.4全球个人区域网标准之上的高级网络技术，他具有很多更加神奇的功能，例如大型多跳网状（AD-HOC）网络，强大抗干扰能力和高级网络自组织，自管理功能……

只要在我们已经有的DIYRF－2510上插上DIYRF－2480 ZigBee升级套件（3个无线龙公司生产的2480 ZigBee无线模块），3 分钟内就能顺利简单完成硬件升级。ZigBee无线传感器网络又向我们展示了一个全新的DIY世界，一个更加五彩缤纷的无线空间正在等待我们。

图16是升级后的一个典型无线节点，这已经是一个具有完整功能的ZigBee无线传感器网络节点了。

我希望下面能给大家继续带来更精彩的还愿之旅，也给大家带来更多的惊奇和乐趣。

成都无线龙通讯科技有限公司介绍

成都无线龙通讯科技有限公司是一家高科技企业，主要从事嵌入式、单片机和无线传感器网络设计工具和无线应用产品开发、设计和生产。分别在成都、深圳、北京、天津、上海和美国建立了研发中心、分公司和市场网络，并且在成都拥有高精度表面安装(SMT)全自动生产车间，具有无线和无线网络产品量产能力。

SMT自动生产线车间一角

无线龙通讯公司4年前首先在国内提出了“无线单片机”的新概念，并专业专注地耕耘嵌入式无线和低功耗无线网络这个全新的市场领域。4年来，无线龙通讯公司开发生产的产品已经涉及低功耗ZigBee、Wi-Fi、蓝牙、GPRS/GSM、RF4CE、IP网络等广阔的新技术领域，并且为全球数千家客户提供了低功耗无线系列产品。

甘做“通往无线的桥梁”，争当“无线世界的先锋”，无线龙通讯公司将为实现这个目标而不懈努力。

◎陈汉燕

国产电子管收音机精彩回顾

红星牌502型收音机（1953年生产）

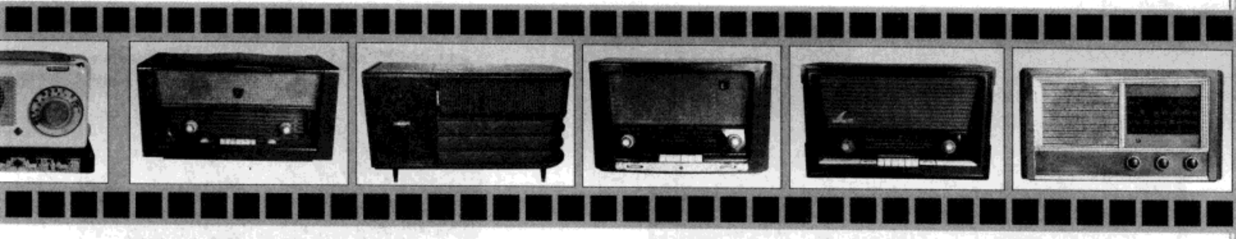
北京牌收音机（1955年生产）

熊猫牌511型收音机（1956年生产）

国产电子管收音机的起步和发展主要是在新中国成立后的第一个10年中，这无疑是收音机生产中最辉煌、最值得骄傲的一段历史。旧中国的收音机工业基础十分薄弱，电子管等关键元器件要靠从国外进口，当时市面上出售的收音机，多数是小作坊的组装机，无论性能还是工艺，都远远不能与欧美收音机相比。

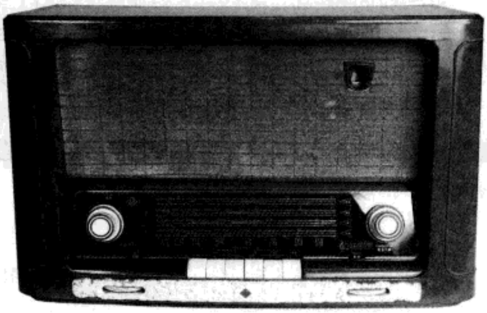
新中国成立后，党和政府非常重视收音机的研制和生产，集中当时国内力量最强的厂家进行技术攻关。1952年11月，南京电工厂试制成功五灯收音机使用的全套电子管。次年3月，南京无线电厂生产出第一部全国产化的五灯收音机——红星牌502型收音机。从此后至1959年，国产收音机生产进入了一个高速发展的时期。

这一时期，国产收音机的生产主要集中在上海、南京、北京和天津。其中上海的厂家和名牌产品最多，如上海、美多、公利、新时代等品牌。南京则有著名的熊猫牌。北京有牡丹、凤凰等名牌。天津主要生产普及型收音机，像著名的“工农之友”、“小北京”和“海河”等，都是畅销全国的大众收音机。需要提及的是，1953年由军工企业改制后命名的上海无线电厂（1957年迁至汉口，更名为汉口无线电厂），也实力



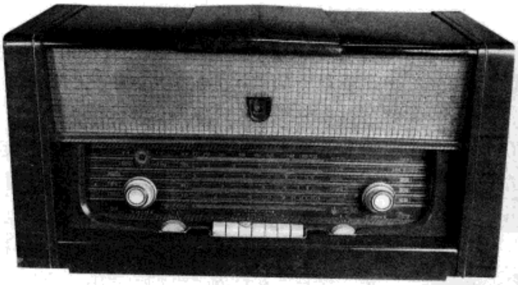
超群，1955年便生产出东方红牌723型七灯电子管收音机。此后，东方红系列收音机成为该厂的名牌产品。

这一时期国产收音机生产的方针是抓两头：一是要针对广大人民群众的需求，生产出更多物美价廉的普及型收音机。二是“要生产出世界上最好的收音机”，以满足出口和有关单位、宾馆的需要。纵观这一时期收音机的产品，确实实现了上述两大特点。当时收音机根据电子管的数量、功能的多少，以及相关技术指标，划分为特级、一级、二级、三级、四级，共五个等级。1953年至1959年期间，二级机以下的普及型收音机的产量每年都要翻几番。一级机和特级机的研制生产速度更加惊人。截至1959年，也就是距生产出第一台全国产化五灯机后的五六年时间，就相继推出了上海牌131、132、133、531，东方红牌802Y数种一级收音机和上海牌532，熊猫牌1501、1502、1401，牡丹牌911、1201几种特级收音机。这几种高档收音机，无论其造型之华贵，工艺之精良，技术指标之优异，



上海131型收音机（1959年生产）

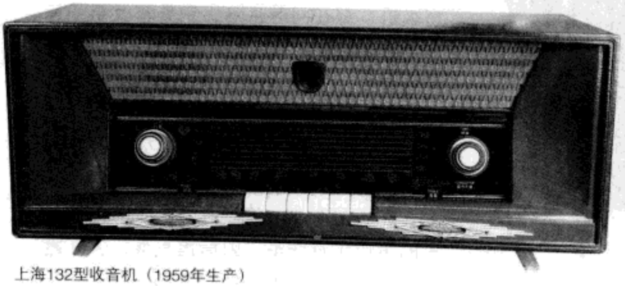
上海133型收音机（1959年生产）



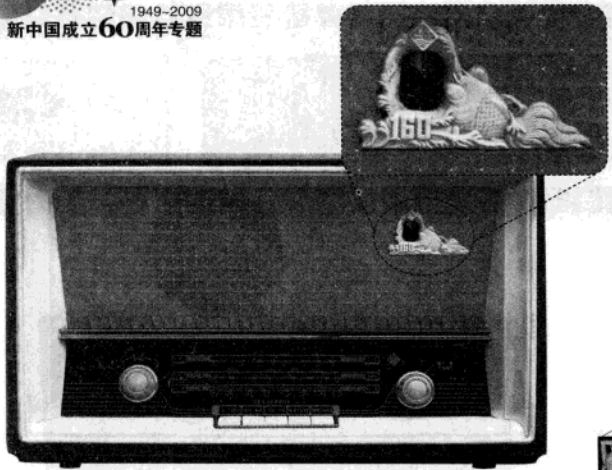
牡丹牌911型收音机（1958年生产）

都是无可挑剔的，达到了我国电子管收音机生产的顶峰。据当时《无线电》杂志记载，有关方面曾用进口的仪器，对牡丹911和三种有着几十年历史的世界著名品牌飞利浦同一级别的收音机进行测试对比，牡丹911的多项技术指标都达到甚至超过了飞利浦收音机。

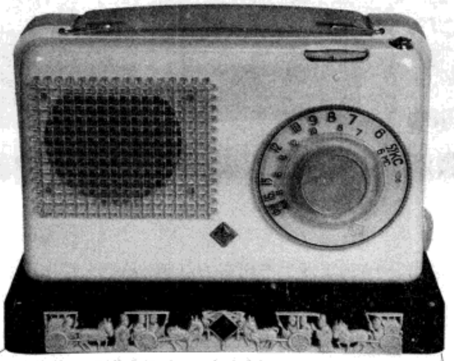
这一时期可圈可点的收音机很多，如天津国营无线电厂1955年开始生产的北京牌四灯机，当年作为奖品，由市政府发放给天津市劳动模范。南京无线电厂继红星502型五灯机后，于1956年推出红星504型五灯机，并将此机的出口型号命名为熊猫551型，这也是熊猫品牌的第一款收音机。1959年9月27日，在北京展览馆举办了庆祝建国十周年全国工业交通展览会，在无线电工业部分的展馆，对10年来，特别是1958、



上海132型收音机（1959年生产）



上海牌160型收音机（1959年生产）



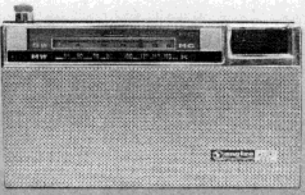
上海牌452型收音机（1959年生产）

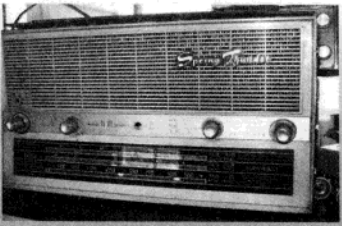
1959年生产的优秀电子管收音机作了集中展示，电子管特级收音机有：熊猫1501和上海532，电子管一级收音机有：上海131、上海132。值得指出的是，展品上海131与1958年版的131的外观有了很大区别，在其面板下方增加了“双龙戏珠”的雕塑图案（《无线电》1959年10期封二曾做过介绍），这应该是为十年大庆而特出的纪念版。上海广播器材厂同期还推出了另外两款纪念版收音机：一是160型六灯机，猫眼罩是鲤鱼跃龙门的雕塑图案，昭示国家兴旺发达；二是452型交直流两用四灯机，电源底座上比1958年版增加了“孔子出行图”雕塑图案，增强了该机的民族特色与文化底蕴。上述两种收音机参加了1959年年底举办的“全国广播接收机观摩评比会”，160被评为一等奖。452型交直流两用四灯机的图片去年在网上展示时，由于与《国产广播收音机手册》中452版的外观不一样，曾被怀疑为赝品。但很快就发现，在《无线电》1960年第1期封三刊载的观摩评比会样机图片中，这款452已经赫然在目。

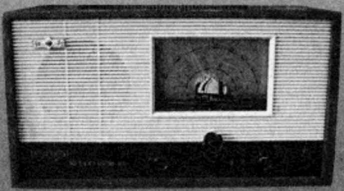
熊猫牌1501型收音机（1959年生产）

回顾国产电子管收音机，其实主要是建国后第一个10年的收音机发展史，大概可以归纳出三个特点：第一，从一个极低的起点开始，到生产出高档收音机，其发展速度在世界上是独一无二的。第二，由于我国地广人多，各方面发展极不平衡，出现了在同一个时期，不同档次收音机产品并存的特殊现象。这一点在世界上恐怕也是独一无二的。例如50年代，从入门级别的矿石收音机、两灯机、三灯机，到中等档次的四灯机、五灯机、六灯机，再到高档的一级收音机，甚至特级机，都在同时生产、销售和使用。第三，因上述第二点的原因，那一时期国产收音机的生产厂家，收音机的品牌和型号数量之多，也是世界上独一无二的。例如从1952年到1959年，仅上海广播器材厂便生产了13种58个型号的收音机。

回顾国产电子管收音机，值得大书特书的事情还有许多，因篇幅有限，仅略述一二，其余内容日后陆续发表。







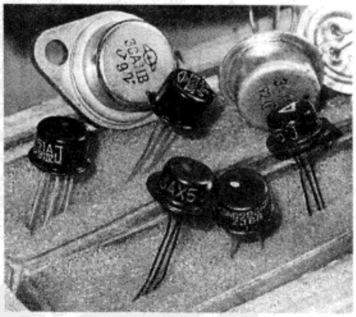
国产晶体管收音机精彩回顾

©靳宁

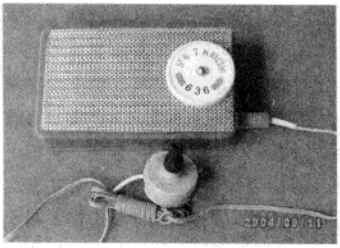
不久前，在拜访一位北京的老无线电爱好者刘老师时，在案头看见了一台国产多波段晶体管收音机TECHSUN PL-600，其做工相当精致。我不禁拿过来仔细端详，轻轻拨了一下调谐钮，机器的液晶显示屏的照明灯立刻点亮了，此时并未开机，这显然是方便夜间使用的一个功能。看到这样体贴的人性化设计，不由深深地感叹，国产晶体管收音机历经多年努力无论是性能和工艺都已与国际一流产品相当接近。

稍为年长些的无线电爱好者大多是从对收音机感兴趣开始的，我也不例外。1974年刚上中学时，首次接触到复刊不久的《无线电》杂志，从此迷上了无线电。从最初组装单管再生机开始，历经2管机、4管机、6管外差机、7管机……现在又准备再返回头装矿石机、装电子管调频机，可谓乐此不疲，一直持续到现在。在这期间，我不仅掌握了一定的无线电知识和技能，还结识了许多朋友，也以一个业余无线电爱好者的身份从侧面见证国产晶体管收音机在这段时期内的发展变化。

晶体管收音机于20世纪50年代中期问世，大约在20世纪60年代初传到国内，晶体管和晶体管收音机的国产化也从此开始。由于当时技术条件的限制，初期生产的晶体管性能和稳定性存在一些问题，成本很高，也可能是由于这个原因，晶体管的制作显得一丝



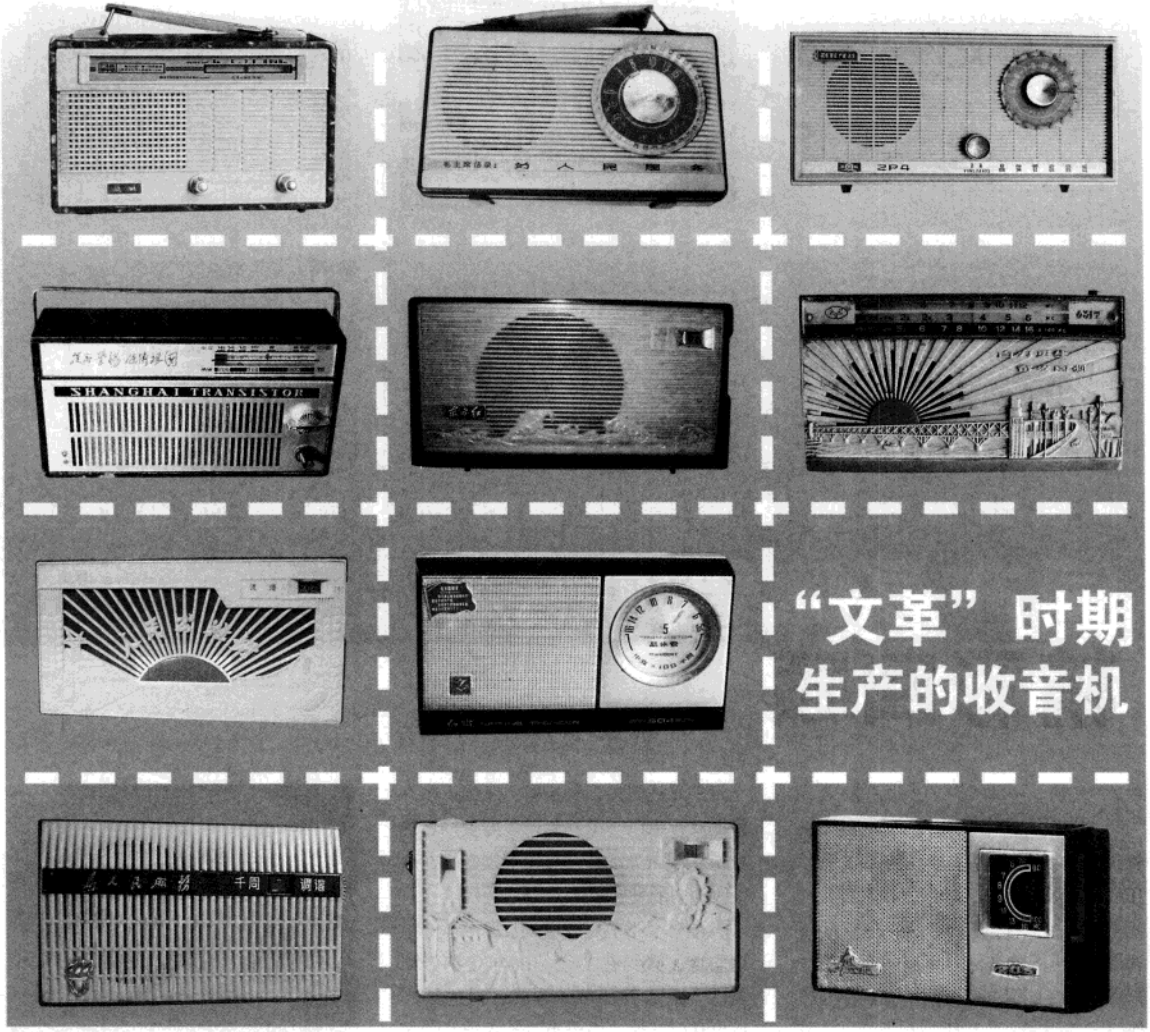
早期的晶体管



单管再生机

两管再生机

“文革”时期生产的收音机



不苟，成品管子表面通常喷漆，并仔细标明牌号、型号和生产日期，管顶还以色点标识参考放大倍数。早期国产晶体管的外形很有特点：金属结构、小功率管下部通常有个卷边，故有些体积较大的型号一度曾被形象的称为“草帽管”，最初生产的管子曾短暂采用过前苏联的命名方法，稍后，国产晶体管开始大量生产，以后国家标准(GB)命名法开始采用，即以数字表示电极数，以字母A-D分别表示材质、极性和功率等，如功率锗PNP高频和低频三极管分别以3AG××、3AX××表示，大功率硅NPN高频和低频三极管以3DA××、3DD××表示等，个人认为这种标识方法非常科学，可以立刻看出晶体管的种类、材质、功率和极性等，优于现在常见的字头为2N××、2S××的美日等国外命名法。

初期晶体管的较高生产成本决定了同期晶体管收音机的昂贵价格，属于当时的“耐用消费品”，甚至是普通家庭中的“一大件”，而7管以上的外差机曾经是奢侈品，所以单管再生机（如636、68-1）、两管再生机（如2P3）和多种3管、4管再生机都曾是商品机。这些在当年许多无线电爱好者都熟悉的《晶体管收音机》和后来出版的多个版本的《晶体管收音机电路图集》及包括《无线电》杂志的许多期刊中都有记载。一直到20世纪80年代，晶体管收音机在相当长的一段时间内仍是商场电器柜台的主角。记得当时北京等大城市

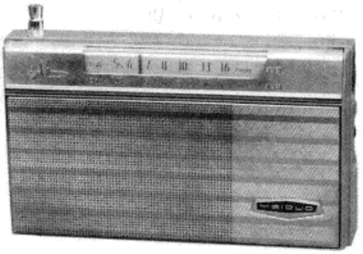
商场或电讯器材商店通常将收音机在玻璃柜台内陈列，往往是十几甚至几十种型号一字排开，蔚为壮观，通常还是每个型号两台，一台正面朝上，另一台背面朝上并打开后盖，并将机器说明书，电路图一并展示，让顾客可以对机器的做工和用料能一目了然，有个直观的了解，以决定选购哪种。日前，和几个年龄相仿的无线电爱好者聚会，大家不约而同的谈起各自当年都曾有过趴在柜台上看陈列的机器，望梅止渴的经历。

20世纪60年代中期时，国产晶体管收音机的生产技术与工艺日趋成熟，无论是机器的设计还是性能都已达到较高水平，我收藏的一台1965年3月生产的美多27A型7管机，即使以今天的眼光看也是一台完成度很高的产品，外观设计也并不显得很落伍。随后经历了10年“文革”，有些当时的标语口号、领袖题词及领袖头像等出现在收音机的外壳上，甚至收音机的牌名也改为“红旗”、“工农兵”、“燎原”、“风雷”等当时的流行用语。现在，这类“文革”时期生产的收音机已成为特殊历史时期的见证，在收藏领域很受欢迎并成为一个门类。

1978年的“改革开放”极大地解放了曾经被束缚的思想，激发了设计人员和一线工人的热情，国产晶体管收音机迎来了最好的发展时期。这一点从机器牌名上可以看到：“美多”、“熊猫”、“飞乐”等老牌名得以恢复，“蝴蝶”、“钻石”、“百灵”等更加中性和贴近生活的牌名逐渐成为主流，到后来还出现了TECSUN、DEGEN、BOLONG（德生、德劲、伯龙）等很现代甚至有些洋气的名字。

早期国产晶体管收音机中有不少值得收藏的佳品，如：熊猫B302型3管1波段收音机、春雷401型4管1波段收音机、工农兵403型4管3波段收音机、凯歌4B12型5管2波段收音机、东风205型5管1波段收音机、红旗604型6管3波段收扩两用机、红灯2J8型7管3波段收音机、上海312型7管4波段收音机、海鸥101型7管3波段收音机、红灯735型10管10波段收音机、牡丹942型9管1波段收音机、牡丹2241型22管12波段收音机……其中北京无线电厂生产的牡丹2241是特别值得一提的机型，全机使用22只半导体三极管和10只二极管，有12个波段，能接收全部调幅广播波段和一个调频广播波段。调幅波段包括长波、中波和9个短波波段，各短波波段的频率范围是衔接的。其中短波2～9（8个）波段有展宽装置，能将各波段中包括的标准米段进行扩展。由于是分立元件结构，所以无论是电路，还是机构复杂程度，都可能是国产机之最。牡丹2241曾于1975年在全国第六届收音机评比中荣获一级机第一名，可以说是代表了当时国产半导体收音机的最先进水平，是里程碑式的产品。只是牡丹2241的产量很少，据说只有700余台，当时主要供应各大宾馆饭店，平时难得一见。2009年7月11日，在《无线电》杂志社和北京无线电广播爱好者联谊会共同举办的“牡丹香犹在，难忘育花人”的活动中，不少无线电爱好者目睹了牡丹2241的芳容。

北京无线电厂生产的牡丹942，作为采用大扬声器(5英寸)、大号电池(1号电池3节)的经济型晶体收音机也是很有时代特点的产品。20世纪70年代末、80年代初时，电池的供应不是十分充足，公众的消费能力也低，5号电池因容量消耗小消耗较快，显得很不经济，所以当时许多人用薄木板另做电池盒装1号电池给便携式晶体收音机供电。记得当时电讯商店里还有塑料制成品外接电池盒供应，牡丹942的出现极好地解决了这一问题，曾经风行一时，据说这款收音机在农村尤其受欢迎。该机只设中波，功放部分采用频响很好的OTL电路，加上直径130mm的大口径扬声器，因而音质非常好。

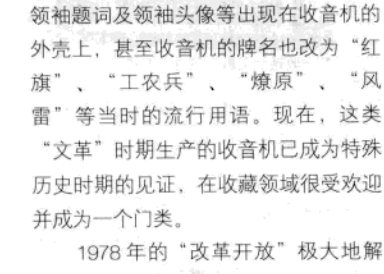


笔者收藏的美多27A型收音机

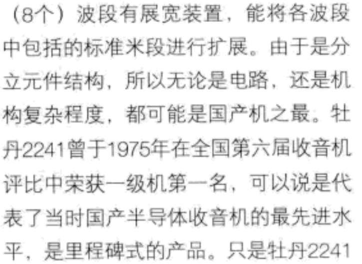
同类产品还有北京产的昆仑7015A型/7113型和广州产的钻石7J1型低电压晶体管收音机，都采用1节1号电池供电，1号电池容量比5号电池大数倍，故在晶体收音机上一般可使用3个月，而在同等条件下使用4节5号电池供电的6V机只能使用1个月左右，因而这类收音机更加实用。

以后随着电子技术的迅猛发展，特别是电视机的普及、录像机、影碟机和MP3、MP4等无疑挤压了部分收音机的空间。尤其是计算机和网络的出现，进一步加剧了这一进程。不过个人觉得，收音机仍会占有自己的一席之地，至少在相当长时间内不会消失。近年来，数字技术在广播领域中的应用，无疑使收音机迎来了一个新的发展阶段。现在，DAB广播已开始在国内一些大城市试播，因此可以预见，收音机的明天将会是崭新的。

注：此文部分插图取自网络。



牡丹2241型收音机



牡丹942型收音机

◎张建雄

衣带渐宽终不悔

——我对广播和《无线电》的执着追求

“小燕子，穿花衣，年年春天来这里”，每当收音机传出动听的儿歌，我就情不自禁地想起充满幻想的童年。

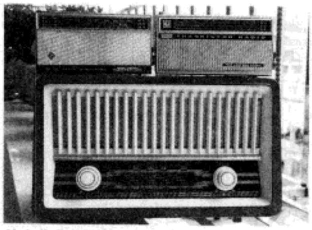
1970年元旦的早上，虎山中学楼顶上的高音喇叭正在播放《人民日报》、《解放军报》、《红旗》杂志社论：“迎接伟大的70年代”，听着嘹亮的广播声音，我的心头思绪万千，心想来到伟大的70年代，我也12周岁了，再过一个学期我就读完小学，升入中学。

元旦学校放假不上课，我照例与小伙伴一起到处游玩，在虎山中学门口的草坪，小伙伴有的在玩小石子，有的在抓小虫，而个子不大的我，却抬头望着楼顶上的高音喇叭发呆，高音喇叭此时正放着歌曲“大海航行靠舵手”，而我的心里在琢磨，高音喇叭播放的歌曲，是从遥远的北京传来的，这些声音是如何从几千里外的北京传来的呢？

到了金色的秋天，我终于踏进了初中的校门，物理课堂上，老师给我们简单介绍了电子、电流及电波等一些基础知识，打开了我通往无线电天堂的大门。一眨眼 2 年过去，1972 年秋天我又进了高中的课堂，有一天上物理课，老师拿着一部他自己组装的收音机进来了，老师一边开着收音机，一边给我们讲无线电的原理等，不断地培养我们对无线电的兴趣。从那以后，我对会唱歌的神奇盒子——收音机的爱好便一发不可收拾。

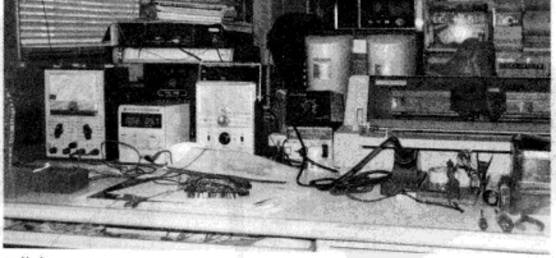
为了使我们更好地掌握无线电的基础知识，老师建议我们多找一些有关无线电方面的课外资料阅读。由于当时的无线电方面的书刊不是很多，我所知道的只有《无线电》杂志，尽管我对学习无线电有强烈的愿望，也十分渴望拥有《无线电》杂志等无线电方面的书刊，但由于家庭经济十分困难，父母一个月的工资收入仅有99元，要负担全家六口人的生活，母亲又长期身体不太好，这使我希望得到每本才0.17元的《无线电》月刊的愿望都暂时没有办法实现。自己无法购买《无线电》杂志，就借同学的来阅读，从此我在无线电知识的海洋里尽情地遨游，不断地充实自己简单的头脑，也不断托起我一个个梦想，希望自己长大以后能成为一个杰出的无线电工程师。

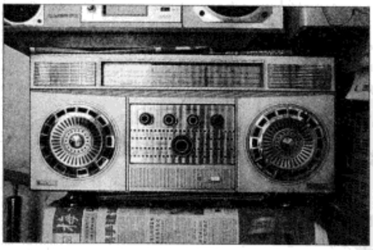
泉城空气连机（上）和长城空气连机（下）

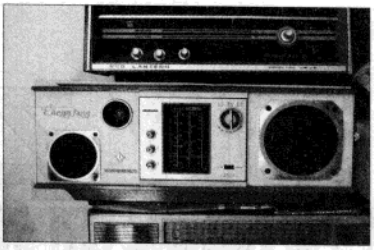

笔者收藏的凯歌电子管收音机

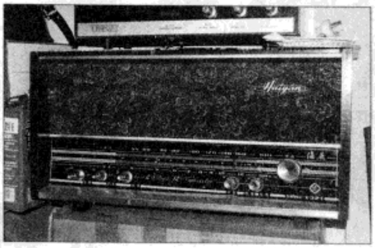
1974 年夏天，才 16 周岁的我响应号召，来到农村，那里的生活居住条件比家里更加简陋，但只要一听见农家的墙上小小的舌簧扬声器传出微弱的广播声音，就会点燃我的无线电梦想。

那时候由于经济落后，收音机只是极少数富裕家庭的奢侈用品，广大的劳动群众还是用舌簧扬声器收听人民公社的有线广播。舌簧扬声器是用很细的漆包线在一个长圆形的骨架上绕上几千圈（大部分绕2200圈），当线圈有音频电流通过时，带动舌簧振动推动扬声器发出声音，这种扬声器功率小，灵敏度高，但就是扬声器的线圈容易损坏，只要遇下雨打雷，或公社


工作台







来的音频信号电压偏高，就把舌簧扬声器的线圈烧断了。

看着群众的舌簧扬声器烧断了线圈，扬声器不响了，又没有钱去修理扬声器，听不了广播，我就想如果能为群众修理好舌簧扬声器，既能为群众省钱，又能提高自己的无线电技术。说干就干，我找出亲戚送给我的天气预报气球里面的小机器，利用机器里的小电动机和架子，做了一个用电池作动力的舌簧扬声器线圈绕线机，别看这个小绕线机很土，但很实用，绕一个舌簧扬声器线圈，几分钟就可以绕完。在短短的2年下乡时间里，我义务帮当地群众修理舌簧扬声器30多个，既方便了群众，也充实了自己，当地群众都不约而同赞我是“山沟沟里的工程师”。

农村的生活很清贫，但无线电的梦想一直在鼓励我不断学习，从1975年起，我用劳动所得开始订阅了梦寐以求的《无线电》杂志，从此我就在无线电知识的海洋里翱翔，不断实现我童年的梦想。我利用劳动之余的时间，动手制作了单管、二管再生来复式收音机，使我的无线电技术得到了提高。在1976年的夏天，我从微薄的劳动所得中，拿出15元从我大哥工厂的工友那里买了一台旧的群益牌5管中波收音机，从此我有了自己的第一台成品收音机。

1976年底响应国家的号召参军到了部队，在解放军的大熔炉里锻炼了4年。部队的生活紧张严肃，没有时间学习和制作无线电，为了不忘记无线电知识，在我当兵的4年时间，我叫我大哥在家乡连续订了4年的《无线电》杂志，并叫大哥妥善保存好每一期的《无线电》杂志。就在部队紧张严肃的战斗生活中，我仍然没有忘记玩点无线电和收音机。到了1980年，已经是老兵的我买了一部便携二波段收音机，这是我的第二部成品收音机，在紧张的部队学习战斗生活之余，小小的收音机给我带来不少的快乐和梦想。1980年5月，我从部队探家回到离别3年多的家里，见到了我大哥帮我订阅的3年多的《无线电》，不禁感到倍加亲切，10天的探家时间，我把3年多的《无线电》全部读了一遍，学到了不少的无线电知识，充实了我的生活,圆了不少的梦想。

4年部队战斗生活很快过去，1980年底，我复员回到家乡，在政府机关工作。虽然我的工作与无线电收音机没有联系，但从小就萌生的收音机情结使我没有放弃对无线电的爱好，依然年复一年地订阅《无线电》等报刊杂志，利用业余时间认真学习无线电书本知识，自己动手修理收音机、录音机和电视机。一转眼几十年过去了，我也成了年过半百的半老人，对无线电收音机的那份情感却永远不老。我粗略估算，到目前我购买收藏的各种收音机有50多台，其中电子管收音机有5台，收藏的收音机的生产年代从20世纪60年代至2009年，收音机的品牌有春雷、熊猫、牡丹、红灯、海燕、海鸥、咏梅、泉城、美多、凯歌等老的品牌，还有德生、德劲、山进、安键等新品牌，也有根德、伊顿、SONY、爱华等洋品牌。为了能够维修好各种收音机，我也购置了一套维修收音机用的工具，有各种万用表（指针表、数字表）、信号发生器、频率计、稳压电源、白光焊台、螺丝刀、钳子等一批工具。还购买了一批老的收音机配件，以满足维修老收音机用。另外，还坚持订阅《无线电》、《电子报》等，购买各种无线电、电子科技书300多册。现在一般的收音机故障，我都能排除，让古老的收音机焕发出青春。

春蚕到死丝方尽，腊炬成灰泪始干。借用古人的诗一句，自勉学海无涯，只要书山有路，我就不断攀登，学到老，爱到老，让《无线电》、广播、收音机成为我永远的忠实朋友。

DIY ZigBee 无线传感器网络

◎吴线

2009年第9期，我们使用DIYRF-2510开发套件和SimpliciTI无线基础网络软件协议栈，动手体验和制作了基础无线网络，这一期我们要自己动手来体验和制作ZigBee 无线传感器网络。

什么是ZigBee

ZigBee是一种新兴的无线网络技术标准，主要用于近距离无线网络连接。它的字面意思为“嗡嗡（zig）的蜜蜂（bee）”，来源于蜜蜂用于传递信息的舞蹈，蜜蜂通过“嗡嗡”地抖动翅膀飞翔出“八字舞”来与同伴传递花粉的方位信息，这样的方式构成了蜜蜂群体中的通信网络。

该技术的主要特色有低速、低功耗、低成本、支持大量网络节点、支持多种网络拓扑、低复杂度、快速、可靠、安全。它工作于2.4GHz（全球）、868MHz（欧洲）及915MHz（美国）的ISM频段，其基础是IEEE802.15.4，这是IEEE无线个人区域网工作组的一项标准，被称作IEEE802.15.4（ZigBee）技术标准。

2001年8月ZigBee联盟成立，主要负责制定相关的无线网络协定。2002年下半年，英国Invensys公司、日本三菱电气公司、美国摩托罗拉公司以及荷兰飞利浦半导体公司四大巨头共同宣布，它们将加盟ZigBee联盟，共同研发下一代无线通信标准，这一事件成为该项技术发展过程中的里程碑。目前已经包括2004、2006及2007/Pro版本。

从一张广告照片谈起

当我实际提笔来写这个题目的时候，感到好像是老虎啃天，无处下手，因为ZigBee技术相对于一个简单无线网络而言，太过复杂和庞大，从基础无线知识，包括高频天线、高频调制技术，到无线数字通信原理，到个人区域无线网络国际标准IEEE802.15.4、MAC原理，再到ZigBee无线网络技术规范、无线网络拓扑、无线网络路由、无线网络安全……如果将这些知识和理论变成书本，可能有厚厚几尺高，对我们这个仅仅几页的文章，要帮助大家完成这样多的知识跨越，进行DIY，几乎是不可能完成的任务。

从哪里开始我们的DIY ZigBee历程？我想到了在美国TI公司网页上看到的一张广告照片，见图1。

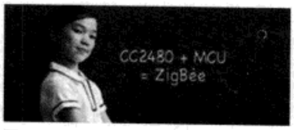


图1 ZigBee网络处理器广告照片

这张照片上，前景是一个上小学3年级充满自信的小女孩，背景上的黑板上写了一行粉笔字：CC2480+MCU=ZigBee。其中CC2480是TI公司推出的ZigBee无线网络处理器，它将复杂的无线网络协议栈处理成了简单的用户接口命令，用户只要使用任何简单的单片机（微控制器），就可以容易地实现对无线网络的控制。TI公司推出这个芯片的目的，就是希望ZigBee容易被使用。

这张照片让我豁然开朗，因为我们上一期已经介绍和熟悉了CC2510无线微控制器（8051内核无线单片机），那么我们只要加上一个无线网络处理器，就可以绕开无线协议栈复杂的内部结构，直接进入无线网络的实际使用。也就是说我们先将无线网络处理器当成一个“黑盒”，使用我们已经熟悉的CC2510单片机（只使用单片机的功能），采用软件来控制无线网络处理器。用这种方式来学习和体验ZigBee无线传感器网络中那些最重要的技术特性，就可以用很短的时间来完成这漫长的学习之旅。

图2 DIYRF-2480套件

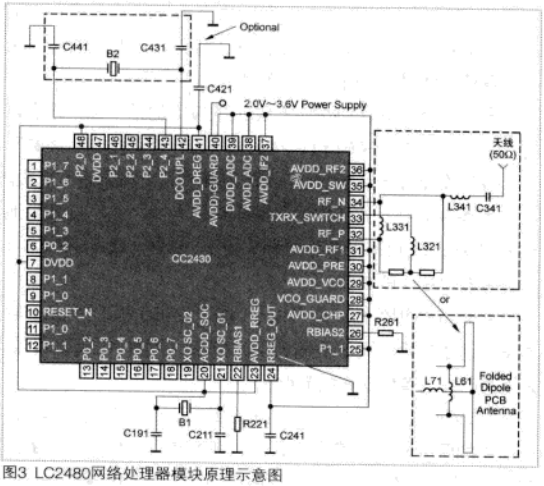


图3 LC2480网络处理器模块原理示意图

快速实现升级，准备好ZigBee无线传感器网络系统

在2009年《无线电》第9期，我们使用的是成都无线龙通讯科技有限公司生产的DIYRF-2510系统，要升级到ZigBee无线传感器网络需要购买升级包装：DIYRF-2480-C或者DIYRF-2480-L（见图2）；不同的升级包装包括不同的网络处理器模块，分别采用TI公司的CC2480或者无线龙公司的LC2480网络处理器，但是软件兼容，模块插座也兼容，当然，采用不同网络处理器的升级套件价格也有很大差别。

与CC2480不同，LC2480网络处理器采用了标准 ZigBee的CC2430芯片，内置了无线龙公司开发的兼容软件，图3 是LC2480网络处理器模块原理示意图。

我们将DIYRF-2510无线网关上的模块，拔出放到安全的地方，然后插入DIYRF-2480升级套装中的一个无线网络处理器模块，就方便地完成了无线网关的ZigBee升级。然后我们再在DIYRF-2510套件无线节点底板上，分别插上剩下的两个无线网络处理器模块，就全部快速完成了DIYRF-2510向DIYRF-2480的硬件升级，也就完成了DIY ZigBee无线传感器网络的硬件准备工作。

升级后的DIY-2480 ZigBee DIY系统如图4所示。

我们原来的DIYRF-2510无线节点底板的CC2510无线单片机中，内置的是简单网络表演软件代码。要实现对ZigBee网络处理器的控制，我们需用使用新的代码，我们必需给两个节点板重新下载代码。

下载完成后，我们可以装上电池，将USB电缆连接到通信口（不是仿真器接口），开始我们在ZigBee无线网络世界的翱翔……

开始你第一个ZigBee实验

首先，将网关（注意检查是否插上了2480网络处理器模块）连接到电脑的USB接口，另外两个无线节点板插上2480网络处理器模块。注意检查是否下载了正确的ZigBee2480表演代码。ZigBee网络系统结构如图5所示。

在开始我们的实验前，我们必需先了解一下ZigBee网络技术的一些基础知识。

每个ZigBee 个人区域网（Personal Area Network，PAN），可以由数千个或者更多无线节点组成。每个ZigBee网络中的节点，都是由一个单片机加上无线收发器组成，我们将单片机和ZigBee无线收发器集成为一个单芯片的片上系统，也称为ZigBee无线单片机，CC2430、CC2480、LC2480等都是这样的无线单片机，在无线单片机内部的存储器里面，安装了ZigBee无线网络软件协议栈（见图6）后，无线单片机就可以实现ZigBee无线网络节点的功能。

在ZigBee网络中，有三种主要的网络拓扑，分别是星状、树状和网状，如图7所示。

按照功能不同，将无线网络节点分为三种不同类型，包括协调者节点（Coordinator）、路由器节点(Router)和终端节点(End Device)，在图8中，按不同颜色来示意这些不同类型的节点。

在简单了解基础概念后，我们可以开始ZigBee网络实验了，首先按照DIYRF-2480使用说明书要求，一步一步安装DIYRF计算机监控软件，然后启动软件，你可以看到图9的欢迎画面。

将DIYRF-2480 网关节点使用USB电缆连接到PC后，点

图4 升级后的DIY-2480 ZigBee DIY系统

图5 DIYRF-2480基本 ZigBee网络结构

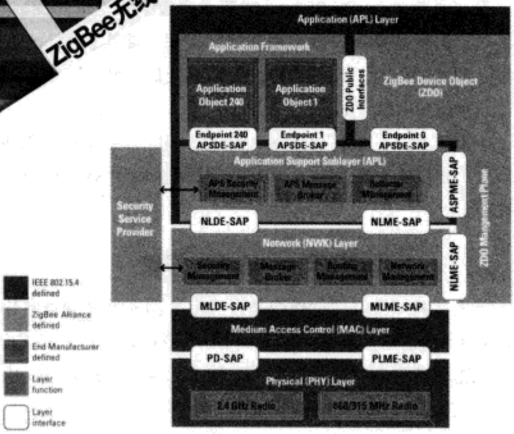


图6 是ZigBee协议栈软件结构示意图

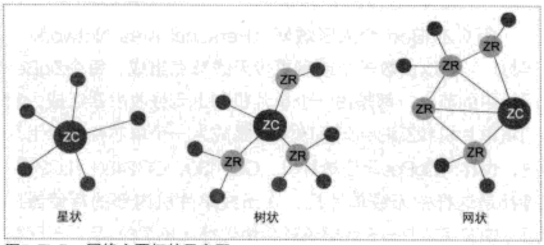


图7 ZigBee网络主要拓扑示意图

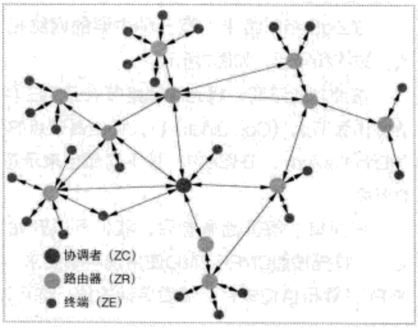


图8 ZigBee网络组织和节点分类

击PC欢迎画面上的“点击进入”，DIYRF PC监控软件会出现如图10所示界面，完成网络参数配置即可开始实验演示。

根据ZigBee技术规范，每个个人区域网必须有一个唯一的协调者节点，该节点承担网络时序管理、网络协调、存储网络地图、允许其他设备加入网络、网络组织、路由信息等，是一个全功能节点（FFD），任何时候都必需打开无线收发部分，在ZigBee 网络中有非常重要的作用。

当你给DIYRF-2480网关（协调者节点）加上电源的时候，模块上的ZigBee无线单片机已经完成了一个ZigBee网络格式化的启动过程，这个过程包括：建立一个独立的ZigBee个人区域网，这个网络一个唯一的个人区域网号码（PAN ID），选择了一个可以使用的，在2.4GHz范围内的通信频道，等待其他网络设备加入这个网络。

然后，我们采用DIYRF-2480上的按键的第一位，分别设定“0”或者“1”来确定LC2480模块工作在路由或者终端节点，我们将无线节点板1设定为路由器节点，将无线节点板2设定为终端节点，安装你的无线节点的电池，然后打开电池开关到ON，设定DIP开关在全部关闭——0XX，或者1XX ,你可以看见图11所示的画面。

经过几秒钟等待，你可以从DIYRF-2480 PC网络监控软件看到这里出现了两个不同类型的节点。如图11所示，红色是网关节点，黄色是路由节点。

如果你选购了更多的LC2480节点和无线底板和模块，例如再加两个无线传感器节点，你可以看到如图12所示的图像，有5个节点在这个ZigBee网络中间，蓝色为终端节点。你可以简单关闭电源开关，节点会从屏幕上消失，然后打开电池开关，节点会重新加入网络。

当你改变底板的开关从X0X,到X1X， 会指定节点从路由传输数据，你可以在PC软件屏幕上看到这个变化。

从节点上，你可以看到相关传感器数据传输，包括温度、光敏、RSSI（信号强度）等，体验ZigBee无线传感器网络的神奇和强大。

自己动手DIY通过软件来控制ZigBee网络

通过上面的介绍和实验，你初步了解了ZigBee的基础知识，也实际动手体验了一个具体的ZigBee网络是如何工作的。接下来可能你希望自己也来动动手，看看能不能通过改

图9 DIY ZigBee 无线网络欢迎画面

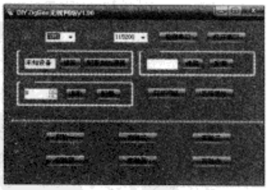


图10 ZigBee网络参数配置

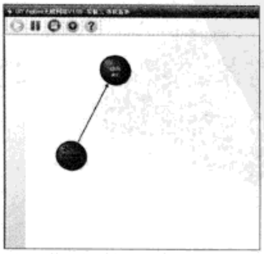


图11 节点自动加入网络

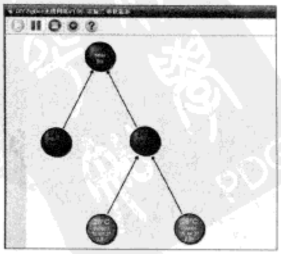


图12 5个节点形成的ZigBee网络

写软件，实现对低功耗ZigBee无线网络的控制，DIYRF-2480为你提供了这样的可能。

对于已经熟悉8051系列单片机和C51语言的爱好者，可以直接上手我们这个样板的实验。对于还不熟悉单片机的爱好者，仍然可以使用系统，从头开始学习8051单片机和C语言，但是你需要入门教材和实验，好在这些东西都可以很快在网络上找到。本期杂志也有入门图书的赠送活动，感兴趣的读者可以发email申请，见第16页。

对于已经有单片机和C语言基础的，并且熟悉IAR调试编译工具的爱好者，让我们开始一个简单的ZigBee无线网络软件DIY之旅。

DIY目标，使用两个ZigBee 2480无线节点，不需要PC机，用加速度传感器做一个ZigBee防盗报警实验。

步骤是：

1. 安装IAR C51编译软件（需要自己到IAR网站下载评估版本）。

2. 按图5连接仿真器到PC USB 口， 注意这次是不同USB接口。

3. 根据需要将仿真器分别连接无线节点板，进行下载和调试，首先进行1号节点，作为终端节点使用。

4. 打开工程文件DIYRFZigBee .PRJ，见图13。

5. 你可以在C语言源代码中，修改和定义你需用的防盗灵敏度，即加速度传感器的三轴门限。然后继续编译，如果提示正确，说明你成功完成编译。

6. 点击下载。注意当你点击这个键，是将软件下载到底板的CC2510无线单片机中。这时，预先固化的表演代码会完全丢失，如果你需要恢复。可以使用光盘中的下载工具下载HEX代码，恢复表演代码。

7. 退出下载。

8. 按启动（RESET）开始运行。

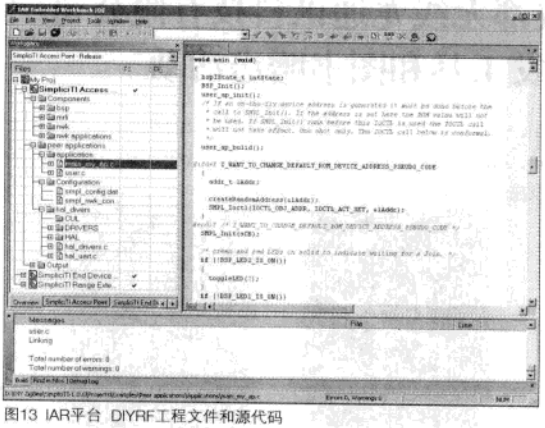


图13 IAR平台 DIYRF工程文件和源代码

9. 仿真电缆连接 2号无线节点底板，设置为协调者节点使用 ，然后重复第3~8步。

10. 1号节点内置MMC7660加速度传感器，你可以打开1号节点的电池开关，把节点固定在被监视的设备上，如笔记本电脑或其他贵重设备，当这个设备移动超过门限时，2号节点（ZigBee协调器）的LED会指示报警。如果你在LED控制线外加驱动蜂鸣器，可以听到响声，知道设备被移动，有丢失危险。

11. 这样，就通过CC2510软件代码的修改，实现了对CC2480和ZigBee网络的直接控制。

从这里出发，你可以采用软件DIY实现ZigBee的各种高级功能，如使用DIYRF-2480的基本硬件进行扩展，设计一个ZigBee健康照顾系统，如图14所示。

又如，可以继续增加购买无线节点板，自己建设更复杂的多节点ZigBee无线传感器网络，实现一个工业仪表的无线传感器网络，如图15所示。

更多应用，畅想ZigBee无线网络未来

ZigBee技术应用于很多应用领域：

在国防领域，利用ZigBee无线传感器网络能够实现对兵力和装备的监控、战场的实时监视、目标的定位、战场评估、核攻击和生物化学攻击的监测和搜索等功能。如美国军队开展的Smart Sensor Web、灵巧传感器网络通信、无人值守地面传感器群、传感器组网系统、网状传感器系统等。

ZigBee 技术应用于环境监测，能够完成传统系统无法完成的任务。包括：植物生长环境、动物活动环境、生化监测、山体滑坡监测、森林火灾监测、洪水监测、地震监控等。

在医疗卫生和健康照顾领域，ZigBee 也可以大显身手，可以用多个加速度传感器的无线传感器网络系统进行人体健康监测，也可以利用无线传感器网络来实现远程医疗监视。

图14 健康照顾系统

每个ZigBee传感器节点上可以包括温度、湿度、光、红外传感器、声音传感器和超声传感器。根据这些节点收集到的信息，监控界面实时显示病人的活动情况并建立与医生的实时联系。

在农业领域，ZigBee无线传感器网络可用于监视农田温度、湿度、风力、大气、降雨量，收集有关土地的湿度、氮浓缩量和土壤PH值等，对应大棚种植室内及土壤的温度、湿度、光照监测、作物生长规律分析与测量；

在工业领域，ZigBee传感器网络可用于危险工作环境，在煤矿、石油钻井、核电厂和组装线工作的员工将可以得到随时监控。这些传感器网络可以告诉工作现场有哪些员工、他们在做什么，以及他们的安全保障等重要信息。在相关的工厂每个排放口安装相应的ZigBee无线节点，完成对工厂废水、废气污染元的监测，样本的采集、分析和流量测定，煤矿、石化、冶金行业可以使用ZigBee无线传感器网络对安全、易燃、易爆、有毒物质进行监测和报警。

除了上述提到的应用领域外，ZigBee无线传感器网络还可以应用于安防系统、智能家居、仓库物流管理、空间海洋探索、资源勘探、污染监控、灾难预防等领域。

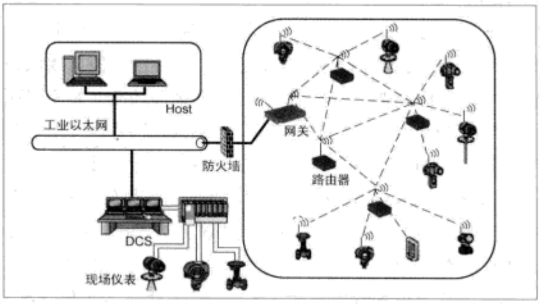


图15 工业无线传感器网络

图16 ZigBee无线数字家居系统

将无线网络DIY进行到底，带你加入ZigBee网络数字家居

住宅是我们最熟悉的地方，我们每天要在这里生活，无线技术的发展，无线传感器网络技术的发展，将给我们的住宅和家居，带来什么梦幻般的变化，这是大家非常关注的热点。

为了实现对家庭自动化的需要，ZigBee协议栈开发了专门的ZigBee 家庭自动化应用模式，也是一种无线网络的标准，通过兼容这个模式，可以容易地实现在ZigBee网络内的家庭自动化，见图16。包括灯光控制、家庭安全监控、窗帘、洒水器的完美的家居自动化功能，我们将在目前 DIYRF-2480开发套件上，升级DIYRF-2430 ZigBee升级套件（3个无线龙通讯科技有限公司生产的2430 ZigBee节点，包括灯光控制节点、遥控器节点）和原有的3个LC2480节点，共同组建一个无线数字家居的网络，让你体验和DIY自己的梦想家居。同时，也希望大家更加深入到ZigBee协议栈内部，来进行软件创新和设计创新。

无线电 Radio.com.cn《无线电》杂志 WXL成都无线龙通讯科技有限公司

联合举办无线网络入门开发工具和图书赠送活动

为了普及无线单片机和无线网络技术，《无线电》杂志与成都无线龙通讯科技有限公司特别准备了5套最新的无线网络入门开发套件DIYRF-2510和20本相关的入门图书赠送给无线网络DIY爱好者，如果你对基础无线网络、ZigBee无线传感网络、无线数字家居网络等感兴趣，可发电子邮件到radio@radio.com.cn申请，邮件主题请注明“申请无线网络开发工具和图书”，在邮件正文中写明你的开发计划和姓名、邮编、地址、单位及联系电话。申请截止日期为2009年10月31日。获赠读者名单将在《无线电》杂志网站（www.radio.com.cn）以及成都无线龙通讯科技官方网站（www.c51rf.com）上公布。

◎胡康

从LED到LCD的巨变

玩腻了LED灯，玩透了数码管，玩够了LED点阵。现在，你想玩转新的东西？是的，你已经对这些器件非常熟悉，在享受制作乐趣的同时它们的缺点也在你的火眼金睛前一样一样地呈现。比如耗电大、显示内容简单，价格相对来说也比较昂贵。想做一个显示内容丰富而又轻巧省电的制作，显然LED已不能满足我们的欲望。我们也只能跟它挥泪告别，去寻找更加合适的显示器件。你发现液晶显示器很不错，省电，可以显示很多内容，也可轻易地显示汉字，还很便宜。其实你可能早就已经在关注它了，只是觉得它很神秘，一直蠢蠢欲动，就是无从下手，喜新厌旧现在看来也不一定是件坏事儿。这次，我是来为液晶显示器作宣传的，让我们一起来揭开它神秘的面纱，看看它到底有多神秘。

液晶显示器有啥好

这里我将主要讲解液晶显示器的玻璃结构及显示原理，我会尽量生动地介绍，希望会让你很轻松地读完它。首先来给液晶显示器做个介绍，液晶显示器现在已经是显示领域的当红明星，不仅能够在迷人的身材上显示丰富的内容，而且不费电，寿命又长，没有辐射，抗震还防爆……它拥有着其他同行们无可比拟的优点，因此在家电产品、数码产品、工控仪表、机电设备等行业内都能见到它的身影。它无处不在，在我们熟知的电子表、计算器、MP3、MP4、手机、电视机、电脑等产品上面都能见到它。

啥是液晶

至于液晶的诞生历史，好像对我们的使用没有多大关系，咱就不去追溯了。我们直接来看看，液晶到底是什么东东。顾名思义，液晶是一种介于我们一般所熟知的液态与固态物质之间状态的东东，有点类似肥皂水的胶状溶液，但它在某一温度范围内却具有液体和结晶双方的性质。它

图1 五花八门的液晶显示器

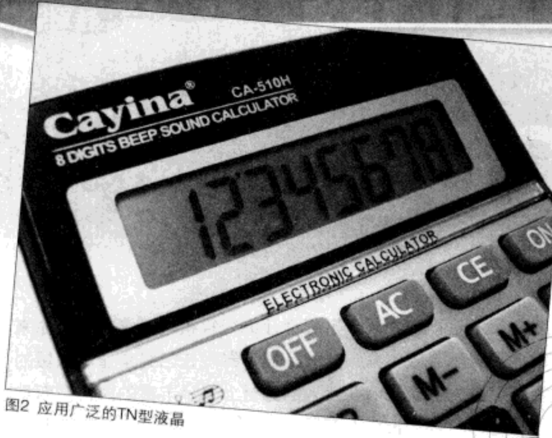


图2 应用广泛的TN型液晶

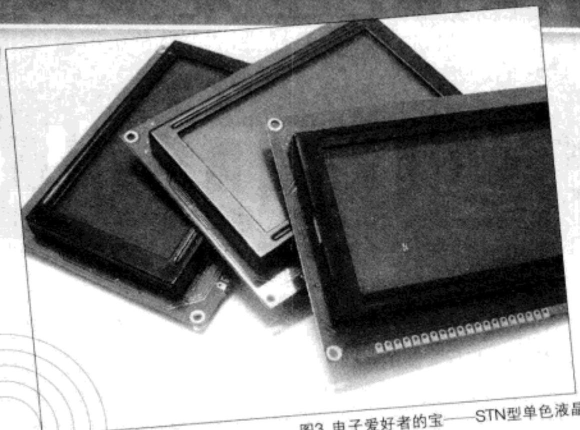


图3 电子爱好者的宝——STN型单色液晶

图4 我苍老的6108——STN型彩色液晶

图5 年轻的7610S——TFT型彩色液晶

的大名是“液态结晶物质”，英文为“Liquid Crystal”，简称“LC”。它可以说是一个具有排列性质的液体，依照作用力量方向的不同，有着不同的效果。打个比方，你可以把液晶分子想象成一根根的短木棍，将一捆木棍抛向空中后，它们的排列状态就像液晶的自然状态，凌乱没有规律。倘若这些木棍掉入河水中，它们就会随着河水的流向而平行排列，此时的状态就像液晶被通电以后的状态。当通电时，液晶分子排列得井然有序，可以使光线容易通过。而不通电时，液晶分子排列混乱，阻止光线通过。通电与不通电就可以让液晶像闸门一样控制光线是否可以通过。而它这种与众不同的特点也正是液晶显示器能形成图像的重要条件，当然，我们还需要给它安个窝，为其创造一个特定的工作环境，才可以达到显示的目的，液晶显示器的玻璃便是专门为它设计的窝。

液晶显示器有哪几个品种

我们常见的液晶显示器按照玻璃结构的不同主要分为四大类：扭转向列型（Twisted Nematic，简称TN）、超扭转向列型（Super Twisted Nematic，简称STN）、双层超扭转向列型（Dual Scan Tortuosity Nomograph，简称DSTN）和薄膜式晶体管型（Thin Film Transistor，TFT），其中前三者为被动矩阵型，后者为主动矩阵型。看着这些专业术语，我感觉有点蒙，且先记下这些名称，来看看它们都有些什么特点。图2~图5是它们的外形和显示效果，其中TN、STN和DSTN三者的显示原理都是一样的，只是液晶分子的扭曲角度不同，TN的液晶分子扭曲角度为90度，而STN的液晶分子扭曲角度为180度甚至270度。TFT结构则采用的是与前者截然不同的显示方式，稍后我将为你详细讲述。

怎样驾驭液晶

我们知道，LED显示器件有静态驱动、动态驱动或动静结合的方式来驱动，那液晶显示器都有些什么驱动方式呢？在回答这个问题之前，我先在这里提醒一下大家，请注意，液晶是一个吃软不吃硬的家伙。它不像LED显示器件，需要直流电压才能很好地工作。它需要交流电压才能正常工作，要跟它玩太极才会服服帖帖，否则它有可能罢工甚至是退休，这点它跟LED显示器件截然不同。液晶显示器的驱动方

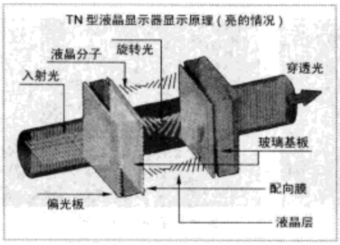


图6

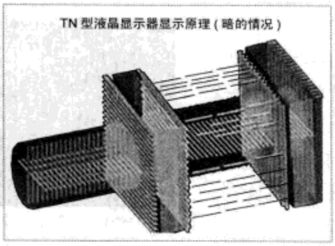


图7

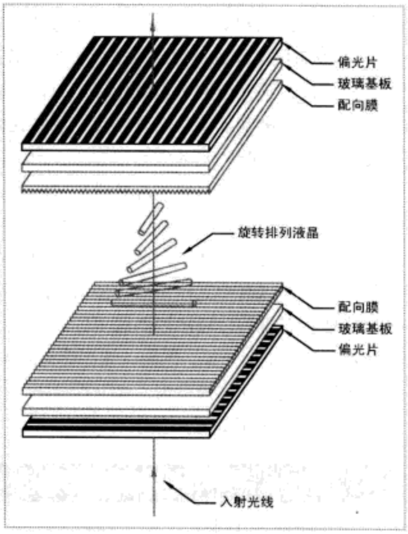


图8

式也可采用静态驱动和动态驱动，但为了使电路结构的简单，一般只有图形简单的液晶显示器才会用静态驱动，我们所见到的大多数液晶显示器都是用动态驱动的。

TN型液晶显示器

首先我们来看看 TN 型，TN 型采用的是液晶显示器中最基本的显示技术，而之后其他种类的液晶显示器也是以 TN 型为基础来加以改良的。而且，它的运作原理也较其他技术来得简单。

图6是TN型液晶显示器的简易构造图，包括垂直方向与水平方向的偏光板，具有细纹沟槽的配向膜、液晶材料以及导电的玻璃基板。图中所示为未加电的情况，液晶分子呈旋转排列，入射光线经过偏光板后通过液晶层，偏光被扭转排列的液晶层旋转90度。在离开液晶层时，其偏光恰与另一偏光板的方向一致，所以光线能顺利通过，整个电极面呈现光亮。这时呈现出来的是我们所看到的字符未显示时的颜色。一口气说了好几个专业名词，我来解释一下。偏光板，简单来说，我们可以把它看作是一个光栅，一束光线经过偏光板后就变成一条条“扁平的光线”射出。而由于液晶分子有折射特性，且靠近偏光板的液晶分子都与偏光板的开槽平行，相邻的液晶分子又接近平行，所以经偏光板射出的扁平光线又能够通过液晶分子折射前进。于是光线就随着旋转的液晶分子旋转前进，最后到达对面的偏光板时刚好与其沟槽平行，经过这么多苦难，还好，它顺利地穿过了TN显示器。这样，我们看起来它就是光亮的。

而当给它加电以后，情况就不一样了。如图7所示，这时液晶分子就像触电一样，全部都竖起来，本来跟偏光板呈平行状态的，现在却与偏光板垂直。它特有的旋光能力也失去功效，上一秒还顺利通过的光，这下碰了一鼻子的灰。就像电影中一样，特异功能的突然失效，肯定会带来麻烦。这不，扁平的光线无法旋转前进，以3.0×10^8m/s的速度狠狠地撞向对面沟槽方向与其扁平方向垂直的偏光板。当然，这不是汽车，不会产生什么严重后果，顶多就是达到了我们的目的，黑色的字符显示了。这种情况，我们称之为正显，即要显示的内容为黑色不透光，不显示的内容为亮色可透光。而与它对

图9 正显和负显

应的负显效果则刚好相反，为了防止打瞌睡，你可以思考一下TN型液晶显示器的负显结构是怎样的，我就不啰嗦啦。慢着，打个岔，不知道你有没有发现，为什么前面讲的液晶分子在常态下是散乱状态，而刚刚我又说它在常态下是有规律的旋转排列呢？配向膜的作用即在此。为了达到最好的对比度效果，液晶按照有规律的旋转排列才能使背景与显示内容对比度更强，于是配向膜就诞生了。配向膜与液晶分子间会产生相互作用力以使液晶分子顺着配向膜的沟槽方向排列，而液晶分子间也有相互作用力，使两片配向膜之间的液晶分子呈旋转状态排列。可能说到这里你还是比较迷糊，那就看看图吧，百闻不如一见，图呢，图在哪里？其实前面的图6已经标示出了这个立体模型图，这里再给出一张我绘制的模型图，见图8，请看看是否跟我所讲一致。

STN型液晶显示器

再接着前面的来说，刚才已经讲到 TN 的显示器显示了，不过 TN 型液晶显示器也就这个能耐，不是亮就是黑，不能显示其他颜色，想整点别的花样都不行。而 STN 就有这个能力，它和 TN 的显示原理类似，只不过它是将入射光旋转 180~270 度。STN 的显示器由于液晶材料的关系，以及光线的干涉现象，显示的色调都以淡绿色与橘色为主，像我们常见的单色点阵显示屏一般都是 STN 的，比如英文字符型的 1602、2002，汉字字符型的 12232，图形型的 12864、320240 等。图 9 ~ 图 14 是它们的显示效果。由于 STN 采用的改良技术，它的对比度及视角也比 TN 型的更好。后来，人们发现如果在这些单色 STN 液晶显示器加上一彩色滤光片，并将单色显示矩阵中的每个像素都分成三个子像素，分别通过彩色滤光片显示红、黄、蓝三原色，再经由三原色比例来调和，就可以显示出全彩模式的色彩。至此，STN 的彩屏问世了，它带给我们视觉上的效果远比单色屏要好，像早期的一些彩屏手机的显示屏有很多都是用 STN 来做的，已经为我服役四年的诺基亚 6108 就是用的 STN 型彩屏。

DSTN型液晶显示器

我们再来了解一下DSTN型的，其实DSTN就是Double STN的缩写。它是在STN的基础上再进行改良的一种类型。STN是单扫描，它就来个双扫描，屏幕被分为上下两个部分进行扫描，这样刷新频率比STN的单扫描要快一倍，也提高了占空率，显示效果又有大幅提高。但STN和DSTN的反应速度都比较慢，约为300ms，两者都是逐行扫描的方式改变电场，因此在电场反复改变电压的过程中，每一个像素点的亮度和对比度都不能独立控制。所以相对来说，. STN和DSTN的显示效果还不是非常理想，对比度和亮

图10 绿背光全透负显效果

图11 蓝背光全透负显效果

图12 橘背光半透正显效果

图13 白背光全透负显效果

度都稍有欠缺，反应速度较慢。而正由于液晶的反应速度慢，导致其像素也有所限制，行列数越多，扫描一遍所花时间就越长。这样到一定的时候，就会出现闪屏现象，像水波一样，一层层的滚动。所以它们的应用范围也受到限制，一般只用于文字、表格和静态的图像处理，不适于高速全动图像、视频播放等应用。看到这些不要觉得它们就很差劲，事物是一分为二的，它也有优点 ，而且可能它的某些缺点在合适的环境里又会是优点，比如说它结构简单、便宜、耗电小，它的视角小在一般的应用中的确是不太好，但是在需要防止窥视屏幕的一些特殊场合这却是它特有的优点。

TFT型液晶显示器

用STN屏做的彩色屏也不是真正的彩色，它只能显示一定的颜色深度，与CRT的颜色差得多了，所以人们就给它取了个绰号叫“伪彩显”。为了改善此前出现的一些问题，后来液晶显示技术大多采用主动式矩阵的方式来驱动，这也是目前达到高质量密度液晶显示效果的理想装置，而且分辨率也极高。方法就是利用薄膜技术所做成的硅晶体管电极，通过扫描法来选择任意一个显示点的开与关。当今的主

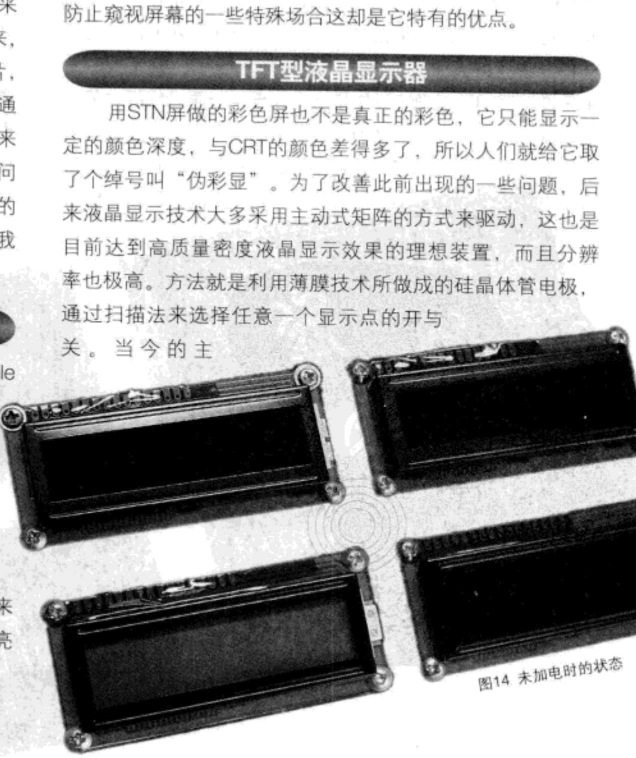


图14 未加电时的状态

流彩屏TFT正是用的这种驱动技术，在TFT型液晶导电玻璃上细小的网状线路上，密密麻麻的印刷了N个薄膜式晶体管，每个线路相交的地方都有着相应的控制匣。虽然驱动信号快速地在各显示点间呼啸扫过，但只有电极上晶体管矩阵中被选择的显示点，才能得到足以驱动液晶分子的电压。这种电路结构又类似我们电脑里的内存，可以保持电压，虽然驱动信号已经扫描到别处去了，但液晶分子还是能被电场力作用着，这样就使其能达到很好的对比度效果，像STN型的液晶屏，当驱动信号扫过后液晶又会慢慢恢复到不显示的状态，影响对比度。

明星出场，当代显示主流TFT型液晶显示器的结构图，如图15所示。

TFT型的液晶显示器结构要复杂得多，主要由背光灯、导光板、偏光板、滤光板，玻璃基板、配向膜、液晶材料、薄膜式晶体管等构成。背光经过偏光板后再经过液晶，液晶分子的排列方式就会改变穿透液晶的光线角度，然后这些光线还必须经过前方彩色的滤光膜和另一块偏光板。所以我们只要改变刺激液晶的电压值就可以控制最后出现的光线强度与色彩，这样就可以在液晶面板上变化出各种不同色调的颜色组合了。整体看起来其实跟单色屏的原理大体还是差不多的，只不过是多了一个彩色的滤光膜，只是控制部分复杂得多。TFT型液晶显示器上的每个像素点都是独立控制的，它们是有源像素点，所以它们的反应速度可以极大的加快，起码可以到80ms左右，对比度和亮度也大大的提高，特别是分辨率，也大幅的提高了。所以，它具有更高的对比度和更丰富的色彩，显示器的刷新频率也更快，用来做视频动画的显示完全没有问题，人们也给它取了个绰号叫“真彩”。由于TFT特殊的控制方法，每个像素配置一个半导体开关，每个点都是独立控制，并且可以连续控制。这样不仅提高了反应时间，同时在灰度控制上也可以做到非常精确，这也是它颜色更为逼真的原因。

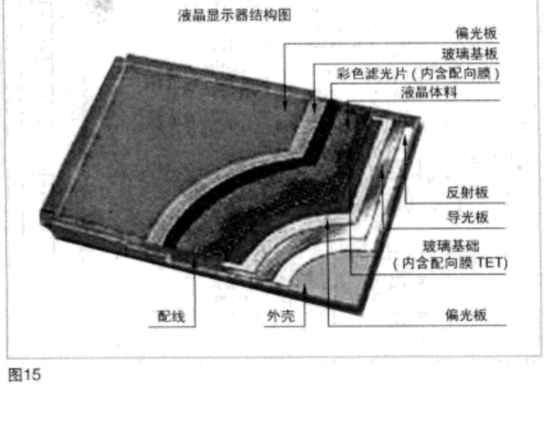


图15

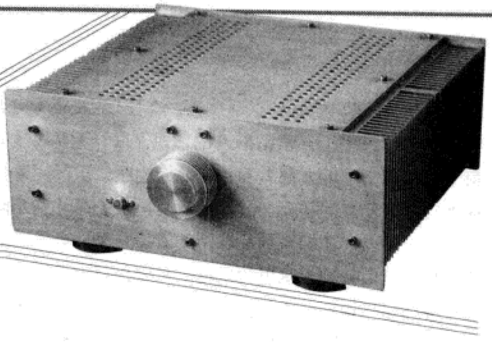
买液晶显示器要知道些啥

好了，液晶显示器的显示原理及玻璃结构就简单讲这么多，不知你是否已经有所了解？实际上我们只需要大概了解一下就可以，对各种液晶都有一定的认识，也没必要了解得太深。当然，如果你很感兴趣，我们可以深入探讨。在选购液晶显示器的时候，根据不同液晶的优缺点来选择。目前市场上比较容易买到的大多数都是STN型的液晶显示器，像常见的字符型和图形点阵型，基本上都是STN型。我们可以从玻璃的底色来作大致判断，黄绿色和蓝色的就是STN型的液晶器，灰色的一般也是STN的，只有少数可能是STN的改良型。TFT型显示屏一般玻璃底色为黑色，但也有部分底色为灰色的。段码的液晶显示器一般都是TN型的，它的玻璃底色为灰色。如果你有幸能见到比较通用的段码屏，比如一排8位的“8”字等，不妨淘上一两个，重温一下“数码管”时钟的设计也是不错的。还可以用来做计算器什么的，但是千万别忘了找店家要相关资料。最近我就刚好设计了两款段码的标准显示器，一款为一排8位的“8”字数字通用显示器，另一款为一排6位“8”字的时钟通用显示器。不过段码显示器的视角度数范围比较小，对应视角方向的显示效果和其他方向的显示效果差别很大。说到视角，人们把液晶显示器的视角分为3、6、9、12点四个方向，很形象的指示方法。经常看到战争大片里的军队间交流也用几点来标示方向，看来这种方法不是军队所独有的。常见的6点钟方向，如手机、MP3这些，正常看手机显示器的方向即为6点钟方向，如果将手机倒过来看，那就是从12点方向看手机，3点和9点依此类推。选购液晶显示器，还有一点不可忽视，那就是背光。而背光又牵涉到液晶玻璃的透光性。我们先来看背光，背光一般分为LED（发光二极管）、CCFL（冷阴极荧光灯管）和EL（场致发光片）三类。CCFL和EL背光都需要专用的驱动电路，CCFL主要用于大屏幕的显示背光，像电脑液晶显示器、液晶电视机等。EL一般只用于对厚度要求比较高的场合，因为它可以做得很薄，但是它的亮度是三者中最低的。LED的驱动方式很简单，所以常见的液晶模块都是用LED来做背光源。再说透光性，分为反射式、半透式、全透式。反射式即不透光，它是靠环境光来显示的，适用于环境光线较好的场合使用。全透式刚好跟反射式的特性相反，需要有背光才能比较好的显示，全透式的玻璃显示对比度比较好，适用于光线不佳的场合使用。半透式则综合了反射式和全透式两者的优点，所以使用的场合比较多。

终于啰嗦完了，经过以上高强度的洗脑，现在你应该是液晶显示器的内行人士了，准备好票子，去电子市场转悠吧，为你的新作品升级一下装备，让它们青春焕发！

◎牛歌 张新苗

使用开关电源的高保真功放



作为音响发烧友，最中意的是DIY一台个性化的机器，亲手将各种元器件与材料魔术般变成一台能发出美妙声音的器材，在不同的电路和元器件搭配中追求完美，这是一种无法形容的美好感受。本文介绍一款使用开关电源的音频功率放大器制作的过程。

一 设计方案

1. 电源的配置

电源是整个音响中非常重要的一环。没有高质量的电源供应，就不可能得到高质量的输出。这次制作选用的是DNC-300A型音响专用开关稳压电源，见图1。该电源的标称功率为300W，电流为6A，电压在±25~35V连续可调。

本人对于开关电源有所偏爱并不是因为目前的开关电源已在音质上完全超过了传统的工频电源，而是综合考虑性价比后作出的选择。使用开关电源给功放供电有以下好处：（1）具有高精度的稳压功能，对于功放在大动态的表现非常有利。DNC－300A的变换频率达到了100kHz，电源的反应速度极快，对于动态变化大的功放电路有着更好的适应能力，实际测试和使用中也证明了这一点。（2）具备完善的过压过流保护，当功放出现过流（负载过重、短路等），就会自动切断输出，这不仅可以保护昂贵的末级功率管，而且还可以避免烧掉价值不菲的音箱。传统功放设计中由于电源通常不具有保护功能，大部分采用限流的方式来对末级功率放大管实现保护作用，这种方式调整较难，门限调得太高，会失去保护作用，调得太低则会干扰功放的正常工作。而使用开关电源后只需要保留传统的中点电压的保护就足够了，甚至可以干脆取消保护电路，使整机的结构更加简洁。（3）提高整机的性价比。目前开关电源的造价已经相当便宜，其整体性价比已经远远超过传统电源。1000W级别的开关稳压电源的零售价在300元左右，用这个价钱来做传统电源的话，连一个优质变压器都买不到。

至于开关电源的声音表现，以笔者的经验，这是一种通透的声音，在力度感、动态表现、解析力和高频的延伸方面都不错，只是味道比较清淡，属于比较冷静客观的风格，对于乐曲氛围的渲染有时会显得不够充分。

2. 电路的选择

功放电路的种类繁多，每一种电路都有自己的优势及缺陷。目前市场上有不少有特色的电路套件提供，很多都基于经典电路。发烧友可以根据自己的需要来选择，这样可免除自己业余制作电路板和拼凑元器件的麻烦，既节省了精力，也保证了效果。经过综合考虑，我决定选用M2模块化功放套件。下面对该方案做简单的分析。

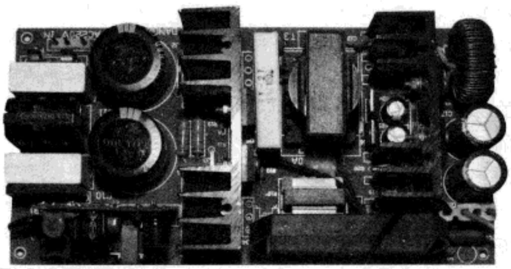


图1 DNC－300A开关电源

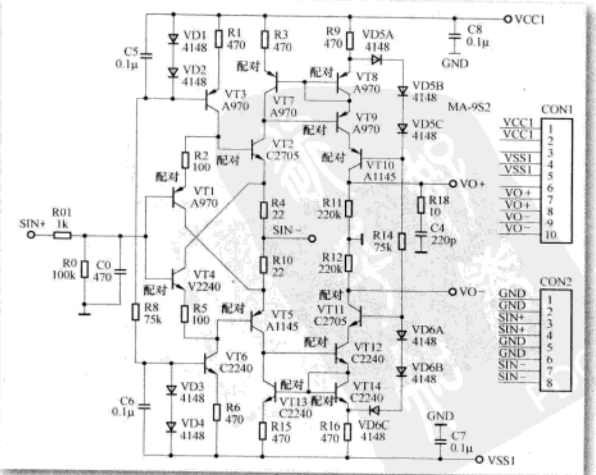


图2

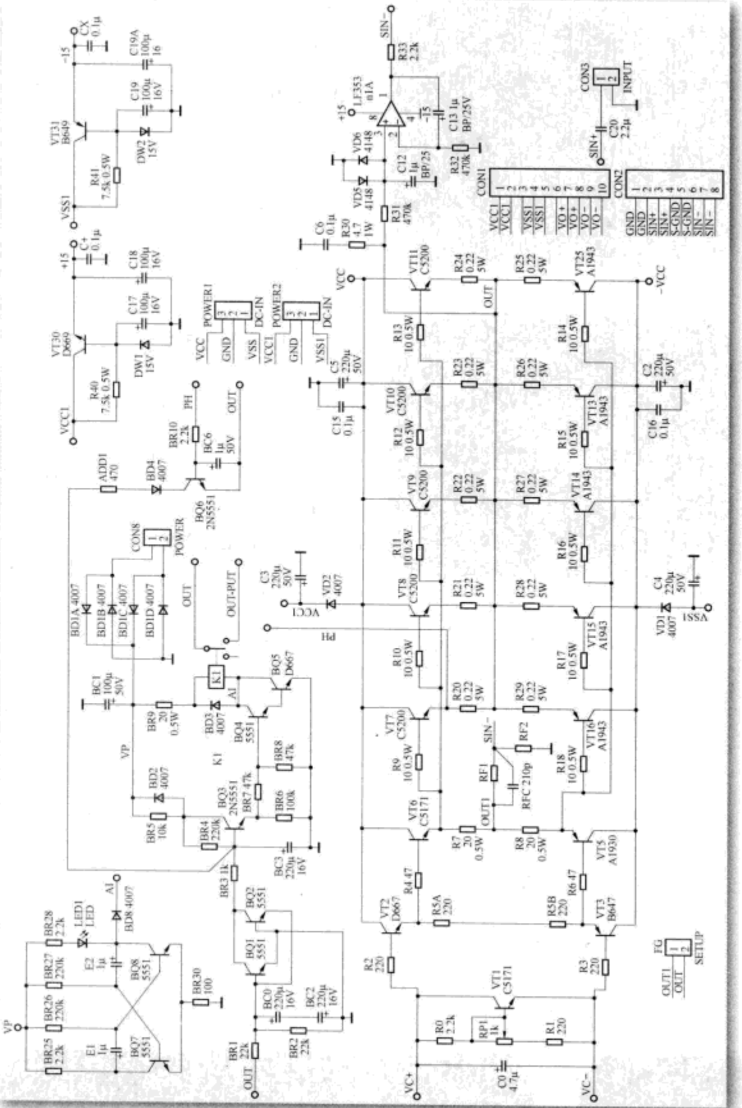


图3

全套电路由前级电压放大模块和后级电流输出模块组成。这种模块化的结构不仅有利于调试，而且可以灵活地更换不同设计的前级模块，可把玩各种优秀电路，体验它们之间的优劣。本次制作选用了MA9S2前级模块和M2后级模块（这两个模块的电路特点曾在本刊2008年第4期上做过简单的介绍）。

（1）MA9S2 前级模块电路

MA9S2前级模块电路如图2所示。它采用HDAM的模块结构，输入级由VT1、VT2和VT3、VT4组成，乍一看像是交叉射极跟随器，其实它是一种变形的自举电路。VT3和VT6分别设定了输入级VT1和VT4的静态电流，约1.4mA。由于R2（100Ω）与R4（22Ω）上的压降相同，可以算出VT2与VT5的静态电流（约5mA）。输入级与电压放大级（由VT9和VT10、VT11和VT12组成）的连接采用镜流（VT7与VT8、VT13和VT14分别组成镜像电流源）传输，并使用了共射—共基结构，有助于改善频率响应。听感上低频宽松，弹力十足，风格上属于现代型。

（2）M2 后级模块电路

M2后级模块电路如图3所示，从电路图看好像比较复杂，其实非常简单。整个电路可以分为3个部分：左上方为保护电路；右上方是一个简单的串联稳压电路，为担任直流伺服的运算放大器提供合适的电压（双15V）；下方则是带有温度补偿的三级射极输

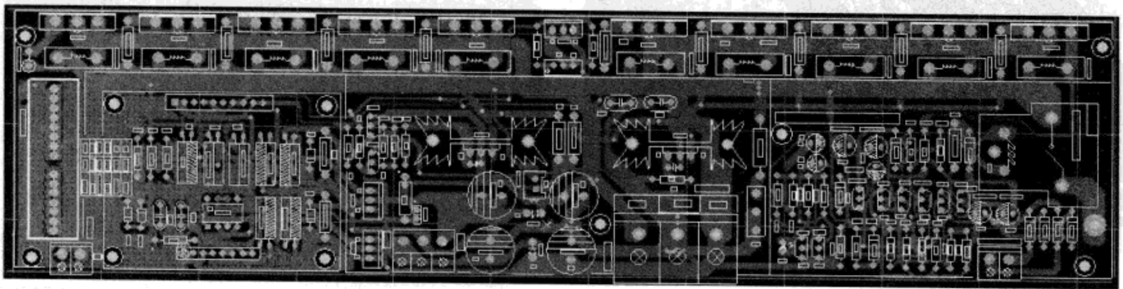


图4 M2印板图（可到本刊网站下载PCB文件）

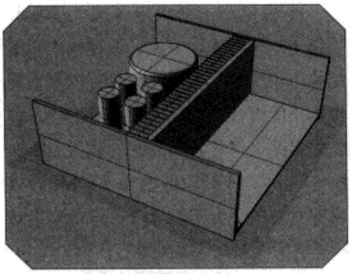


图5 单散热布局

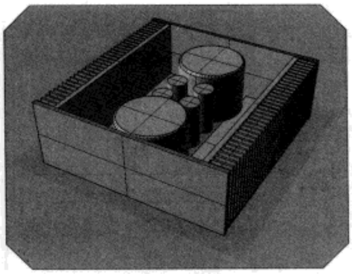


图6 双散热布局

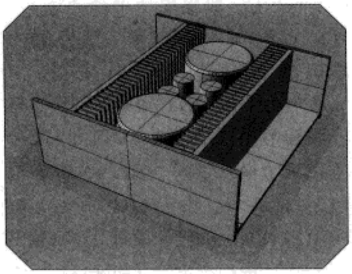


图7 双散热布局1

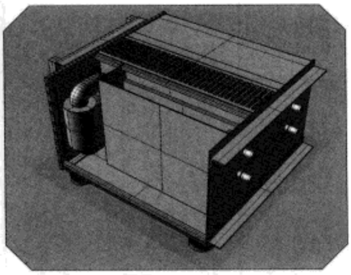


图8 双散热布局2

出器电路，图上显示的末级为5管并联工作。下方右侧则是以LF353运放为核心的直流伺服电路，用来稳定电路的中点电压。电路的主要特点如下：（1）三级达林顿电流放大,每声道可以安装1~5对C5200/1943等TO-3P封装的功率管或1~3对大三肯等MT-200封装的功率管。（2）输出无大环反馈,反馈形式可以切换。反馈从推动级引出，可以有效隔离扬声器单元的反电动势对电路工作的不良影响，听感上更舒展一些。（3）可接多种电压增益模块，便于通过更换电压增益模块来得到不同的音色。（4）直流伺服稳定中点，全功能保护电路,包括短路、直流、开机延时、故障灯报警等。（5）多管并联时减小了输出内阻，提高了电流输出能力，推动低负载的能力很强。

M2后级板PCB板的布局很合理，一侧是功率管的安装位置。另一侧则分成3个区，依次是输出保护部分、推动部分、直流伺服和前级接口部分，井井有条，见图4（注：M2的PCB板为镜像对称设计，双面PCB板，所以有4幅图）。

3. 布局问题

整机的布局是自制功放的一个关键要素，合理的布局不仅给制作带来方便，还可以有效降低各个单元模块之间的干扰，改善功放的稳定性，提高声音表现。目前常见的整机布局主要有以下几种：

（1）单散热布局

这种方式通常散热器会内置，如果采用这种方式，最好是用散热片把变压器和功放的PCB板隔开，虽然这样会让人觉得重量上不平衡，但屏蔽的效果比较好，见图5。

（2）双散热布局

双散热器布局就是中心放置电源部分，向外依次放置是PCB板、散热器，见图6。此布局的好处是散热效果不错，机箱结构简单，走线上也比较方便，大家做的不少机器也采用这种布局。这种布局很适合成熟产品的批量生产，对于经常需要改来改去的DIY，却并不一定最为合适。

如果你是准备搭一个通用性较高又适用于实验，那可以考虑如下布局：中置电源，向外依次是散热器、PCB板，而且PCB板应尽量水平放置，即PCB板平面与散热器的基板相垂直，见图7。这样布局的好处有：一是散热

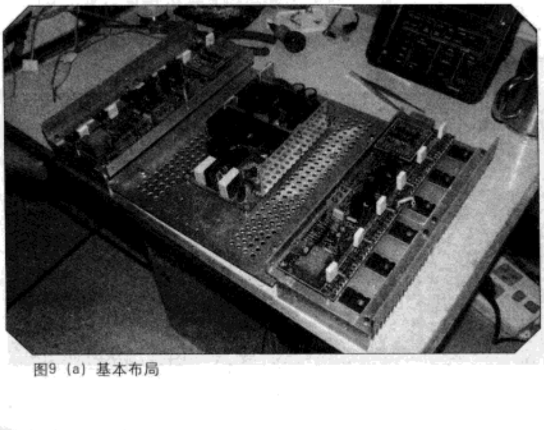


图9（a）基本布局

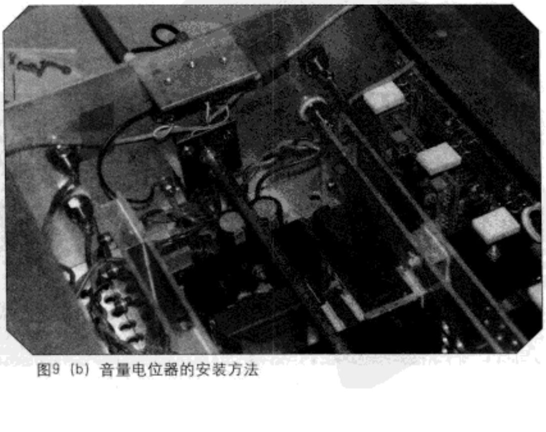


图9（b）音量电位器的安装方法

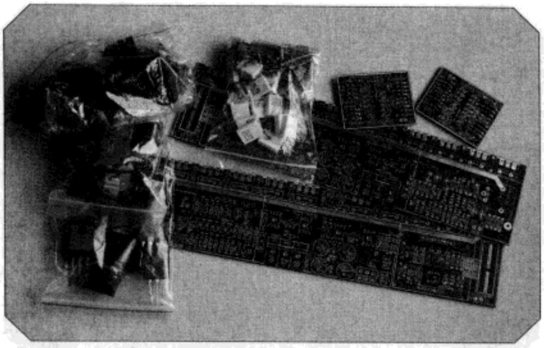


图10（a）M2套件图

图10（b）M2全套元件合集

器对电源的噪声可充分屏蔽，二是有利于拆来改去。

另一种变形的布局：电源前置或后置（建议前置），用金属板与其他部分隔开，散热器对放中央，PCB板置于外侧，见图8。对置的散热器形成类似烟囱的风道，散热效果好，外置的PCB便于调整，前置的电源不会被高温的散热器烘烤。

本机的布局采用的是图6所示的典型双散热布局，散热器外置两侧，电源中置。布局的基本原则是使大信号电路、电源电路与小信号电路尽量保持距离，避免干扰，尽量缩短所有走线的长度，特别是小信号电路。从这一点出发，功放板的输入端放在后板的中间位置，同时音量控制电位器也紧靠输入端子，直接装在背板上，通过长轴与面板上的音量旋钮相连，见图9。

二 制作过程

1. 器件的准备

这次制作购买的是现成套件，如图10所示。节省了自己寻找元器件的时间和精力。电阻采用的是精密五色环金属膜，电解电容、薄膜电容等均为音响专用品，所有管子都选用久经考验的音频专用管，而且均经过精密配对。小功率管的配对误差都控制在3%以内，大功率管的配对误差控制在5%。由于输出功率不大，输出采用的是三管并联输出。值得一提的是，虽然元器件均为精选，但是并没有盲目选择高价的补品，因此整套元器件的价格得到了有效的控制。

2. 机箱的制作

（1）总体安排

整机尺寸为340mm×380mm×160mm（W×D×H），比较小巧，即使放在桌子上也不显得笨重。业余条件下机箱的加工是个难点，所以决定采用传统的外置双散热布局。散热器使用了4块150mm×120mm×40mm的E形散热器，见图11。

每声道使用两块，每声道的连续热量耗散功率约为60W。如果将工作电压设为双25V，静态电流可以调至1.2A，这样在8Ω负载上甲类输出功率可以达到23W，算是一个小甲类机。实际制作时经过对比，甲类状态下的音质表现与乙类相比并没有很明显的差异，为了获得更大的动态表现能力，最后调整时使用双35V供电，使每声道的静态电流约为300mA，每管的静态电流约为100mA。

制作机箱使用的是3mm厚的铝板（正巧手头有这样规格的铝板），机箱各个部分的连接使用优质角铝，打孔攻丝后直接用螺丝进行固定。机箱的顶板和底板上都打了8排散热孔，散热效果不错，见图12。

后面板的布局非常简单，中间下部是电源进线口，上部是输入RCA插座，两侧为输入接线柱，实物如图13所示。

（2）打孔与攻丝

要想把机器做得精确，各个部位的尺寸一定要准，确定各个部位的尺寸时可以用实物排布的方式确定，也可以利用CAD类的软件在电脑中布局。笔者是利用三维软件，按照实际尺寸建模，在电脑上布局。实际量取尺寸时应使用高精度的尺子，配合美工刀画线定位，这样才能保证足够的精度。所有的设计和定位工作都应该在PCB板的焊装之前进行，特别是PCB板的安装孔要结合实物对照确认一下，以免出现不必要的麻烦。打孔时要用冲子先冲一个小坑定位，以免钻孔时钻头跑偏。钻孔时先用小钻头，然后用大钻头逐步扩至所需要的孔径。攻丝时丝锥一定要垂直于表面，要进二退一，以利于排出碎屑，并加些机油润滑，这样不仅可以防止丝锥卡死折断，还可以提高螺纹的质量。

（3）表面的美化处理

机箱表面并没有进行复杂的处理，由于铝板上本身有一些细小的划痕，影响整机的美观，为了提高视觉效果和完成度，对所有的孔边都进行了倒角处理（可以使用大号的钻头进行），并用水磨砂纸进行了拉丝处

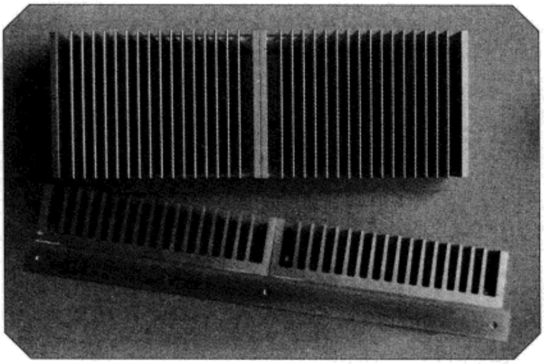


图11 散热器

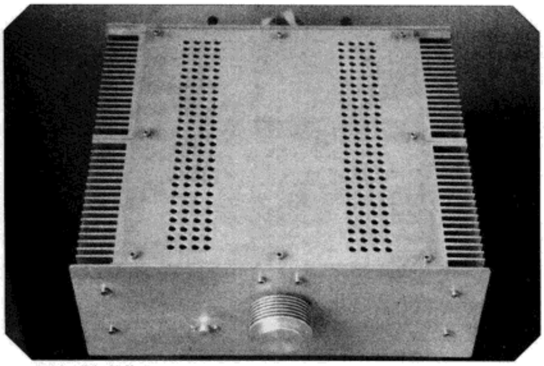


图12 顶部散热孔

图13 后面板的布局

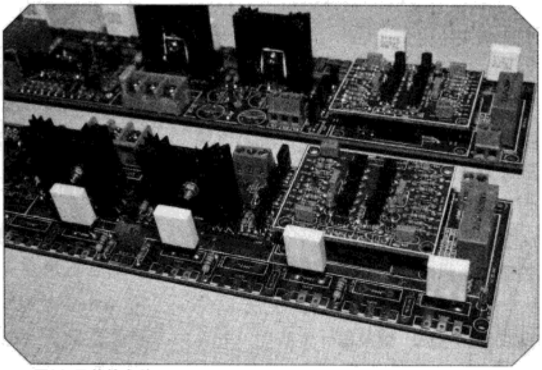


图14 元件的安装

理。业余条件下拉丝处理的方法是：使用水砂纸沿一个方向进行打磨，先用粗砂，后用细砂，也可以用钢丝毛刷甚至清洁球来做，同样可以达到很好的效果。

3. 安装与调试

元器件安装的顺序可以按照从低到高的位置，也可以按照从小到大的顺序，从前到后的顺序，原则上先上电阻，后焊电容，最后焊晶体管。需要注意的是焊双面板时烙铁停留的时间要稍长一点，以便于焊锡充分流动并充满过孔，以提高可靠性，也可以采用双面焊的方式，只不过要稍麻烦一些。为防止焊接时间长可能对元器件造成的损害，应该使用高质量的恒温烙铁和流动性好的优质焊锡。

在焊接功率元器件（大功率电阻和晶体管等）时，不能将元器件的引脚留得太短，而且也不要紧贴印制板安装，要留出一定的空隙，这样不仅有利于散热，而且可以防止热应力造成引脚的接触不良，焊接好的电路板如图14所示。

在安装时可以按照各个电路单元或信号流程来进行安装。首先装调电源部分，确定电源部分电压正常后再进行其他电路。由于本机使用的开关电源具备全功能保护，装调时的风险较小，一般不会出现器件的损坏。如果是使用传统电源，可在正、负电源与电路板的连线间串入一个保护电阻（起限流作用），以防出现意外。在调试时，可以先不加末级功率管，因为大环路负反馈是从推动级引出，不

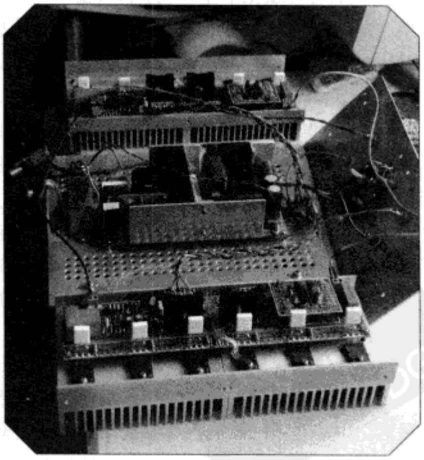


图15 调试现场

加末级功率管并不影响调试，而且可以避免意外造成损失。

如果装机没有错误，本机只要通电就能工作，唯一需要调试的是后级的静态电流。在加电之前，要将控制末级静态电流的精密多圈电位器的阻值调到最大（这时末级电流最小），确保安全，见图15。如果加电后各级工作点都没有问题，就可以接上大功率管进行最后调试。在调整末级静态电流时一定要注意缓慢均匀，特别是电流升上来以后，以免末级电流出现突变。

PCB板上设计了补偿电容的位置，经过实验，不加补偿电容本机依旧非常稳定，没有出现任何自激等不稳定的问题。但从波形表现综合考虑，还是应将补偿电容装好，等煲机完成后可以根据实际情况再行调整。

功放板调整完毕后，就可以进行整机最后的组装了。输入、输出接线柱使用了质量较好的纯铜镀金材质的产品，所有机内连线也都采用优质纯铜线，关键的音量电位器采用了贴片元器件焊装的21挡步进式，实际使用手感和精度都很不错。

音量旋钮放在前面板上，它是用航空铝制成的，通过长铝棒与电位器连接。由于电位器与交流电源输入插座的距离比较近，为求完善，又使用了一小块L形铝片，见图16，这样不仅固定了电位器，还起到了一点屏蔽效果。从音量电位器到PCB板上使用了双芯屏蔽线，芯线传输信号，屏蔽层在PCB板一侧单端接地，这样比单芯屏蔽线的抗干扰效果要更好些。

在开关电源上加装了跳线，可以在双25V与双35V间进行切换。如果想改变到甲类状态，可以切换工作电压，并对静态电流进行相应的调整。需要注意的是由于整机布局紧凑，开关电源工作时有一定的热量散发，为了安全可靠，先后进行了两次散热强化。加装了双层散热板，既提高了散热效果，又起到了电磁屏蔽作用。

可能大家对开关电源的干扰有些担忧，其实没有必要。事实并没有想象的那么严重，传统电源的干扰有时也是很厉害的。现在加强散热后，外侧的双层散热板都接地，屏蔽作用良好，见图17。在输入端空置时将音量开到最大，才能听到微弱的噪声。

简单试听了一下在甲类和甲乙类之间的区别，由于是新机，声音还不稳定，感觉差别不是很明显，甲类的控制力好一些，更“稳”一些，其他方面没有很大的区别。

整机的声音表现还是非常不错的，特别是中小音量下的声音表现非常细腻，对负载的驱动能力也不错（笔者使用的音箱是杜希2.1），整机的外观也很精致美观，完全达到了笔者的制作目的，见图18。

三 需要注意的问题

在装机过程中，经常会遇到一些看似很小的问题，但是都会对装机造成一些不良影响，从精益求精的角度出发，必须引起足够的重视，下面列举几条：

1. 散热器的放置

常常见到一些烧友将散热器水平放置，即翼片的走向呈水平方向，甚至有的还置于PCB板的下方，有人说“有些厂机也这么做”，其实这样做对散热很不利。正确的放置方向应该是翼片的走向与空气的流动方向一致（对于自然对流冷却的散热器，应该将翼片沿垂直方向安放），这样才能有效地使空气对流带走功放产生的热量。错误放置的散热器在功放工作于乙类时可能毫无问题，一旦电流调大，就可能产生灾难性的后果。

2. 跑电路与测量元器件

不少烧友都是买来套件进行组装或是买了PCB板后自己备件来装。拿到PCB板后，一定要对照原理图进行分析和检查，俗称“跑电路”或“跑板”，这样做有两个好处，现在的PCB板已经广泛使用双面板，双面走线和大量过孔使走线合理，但也有一些PCB

图16 音量电位器特写

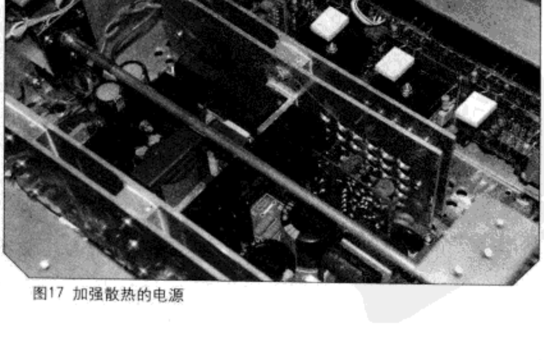


图17 加强散热的电源

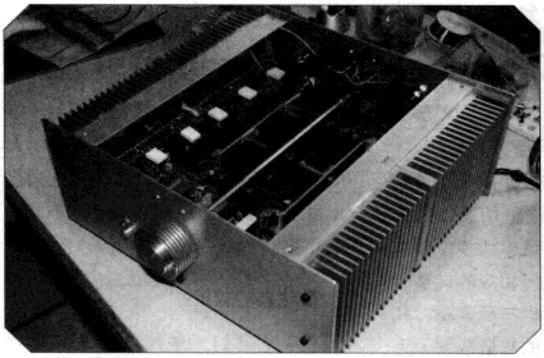


图18 整体效果

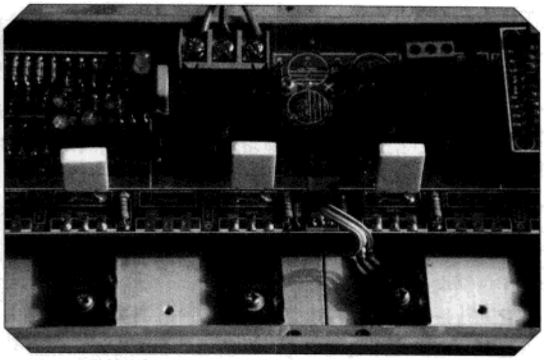


图19 温补管的安装

在设计或制作中存在问题，跑一遍电路不仅可以放心，也是一个学习的过程。一是电路设计中可能有微小的调整，造成原理图与PCB板局部不完全相符，对照检查可以做到心中有数；二是可以学习PCB板设计的思路和方法，体会PCB板设计者在元器件布局和电路排布方面的苦心，对提高自己对电路的理解是很有益处的。设计过PCB板的爱好者都知道元器件的摆位和走线的排布是一件非常费脑力的事情。特别对于那些精心设计，多版本改良的PCB板，更要认真揣摩，仔细研究，这样可从中学到许多东西。不要急于安装，DIY不是装配工，我们要从DIY中学到更多的东西，享受更多的乐趣。

测量元器件也是一个必须要做的工作。元器件上板前必须要进行测量，确认没有问题，新购的元器件虽然极少会有质量问题，但并非万无一失，尤其对于二手拆机元器件更要认真去做。在元器件上机前测量一下，养成严谨的制作习惯，有百利而无一害，万一哪个元器件有问题而上了PCB板，加电后很可能会造成巨大损失，就算没什么损失，你想把它找出来，恐怕就麻烦得多了。

3. 温度补偿管的安装

很多功放板在设计时，温度补偿管子都是和末级管子并排放置，这并不是错误，但你若也简单地并排安装，那就犯了另一个基本错误。我们都知道晶体管是对温度很敏感的器件，在不同的工作温度下参数会有很大的变化。放置于一旁的温补管由于散热器有很大的热惰性，并不能及时检测到末级电流管的温度变化，也就无法准确地进行温度补偿，这不仅对于功放的工作点稳定不利，而且还有非常大的安全隐患。这种简单的安装在乙类状态时可能看不出什么，但电流一旦调大也许就会放起烟花。

为何有的烧友调好工作点，关机冷却后再开机却烧保险管甚至烧电源？为何开机电流比稳态电流相差很大？为何一调大电流就出问题？其实原因很简单，没有正确安装温度补偿管。正确的安装是将温度补偿管紧贴于功率管上，连线引到PCB板上，见图19。

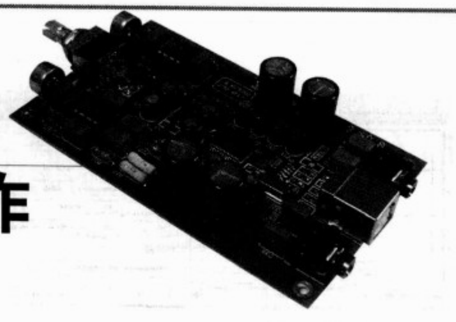
如果出现过补偿，可以在其射极加一个电阻或加垫云母片来调整，略微的过补偿是安全之举。对于场效应管，也不要因为所谓的“负温度”系数而大意，仍然要根据实际情况采取相应的措施。

4. 关于小电容

很多烧友不喜欢装pF级的小电容，认为会影响带宽和瞬态表现。我想说的是安全第一，首先要保证安全，限制放大器的带宽，控制相移是必要的安全措施。在没有相关测试仪器（如仅依靠万用表）调试时，更应该把安全放在第一位。我曾装过一台功放，听音没有问题，但用示波器测试，可以看到寄生振荡，虽然幅度很小，但却可能在一定条件下（如接入复合负载）使放大器彻底变成振荡器。更何况去掉电容也未必就会好声。对待pF级的小电容，应该先接上，再视情况作调整。

5. 调校

对于一个固定的电路和PCB板设计，调校主要通过更换元器件和改变工作点来进行。需要注意的是，这个工作不能在刚装完机器时进行。因为刚装好的机器，特别是全新元器件装出来的机器，加电后都有一个老化的过程，在这个过程中声音的表现是不稳定的，前后会发生比较大的变化，通常刚开始声音会比较紧、硬、解析力也低一些，要工作一段时间（即通常所说的“煲机”）后，才会慢慢改善。校声工作应该等到机器充分老化，声音稳定以后再进行。另外，进行校声时最好有一套比较熟悉的、声音中性平衡、具备一定素质的器材作为参照，并利用相关的测试仪表，采取客观测量与主观试听相结合的方法，这样才能有的放矢地进行调校。



一款高品质的USB声卡的制作

◎游宇兵

目前市面上很多电脑主板都有板载声卡，有些音质不太理想，通过硬件方式也不太容易改善。本文介绍的是USB接口的声卡，其优点是即插即用，性价比高，同时不用在电脑主板上焊接，风险小。对于电脑没有声卡的朋友，很值得一试。

芯片我们选择PCM2900B，这是德州仪器（TI）最新的一款USB接口的16bit立体声音频编解码芯片。这款芯片比较优秀，兼容USB2.0，以全速（12Mbit/s）传输，其中DAC的 THD+N是0.005%，ADC的THD+N也达到了0.01%（使用外部低噪声降压芯片REG104时测试），均支持48kHz采样频率。声卡可以支持当前主流的操作系统，如Windows XP、Windows Vista和苹果电脑多个版本的Mac OS，在这些系统上使用无需安装驱动。对于不兼容的操作系统，也可以下载芯片公司提供的驱动软件，安装后即可解决，满足大多数人的要求。

另外PCM2904B、PCM2902B和PCM2906B等型号可以和PCM2900B引脚兼容，可以不改动电路直接替代，其中PCM2902B和PCM2906B在功能上增加了S/PDIF数字输入和输出，模拟特性上，上述型号是相似的。

一 电路设计

首先要大致了解一下芯片的工作原理，电路如图1所示。在USB传输协议中，通过划分不同的虚拟数据通道，用于传输不同的数据，PCM2900B就有4个通道接口，分别是控制接口、输出音频流接口、输入音频流接口和HID

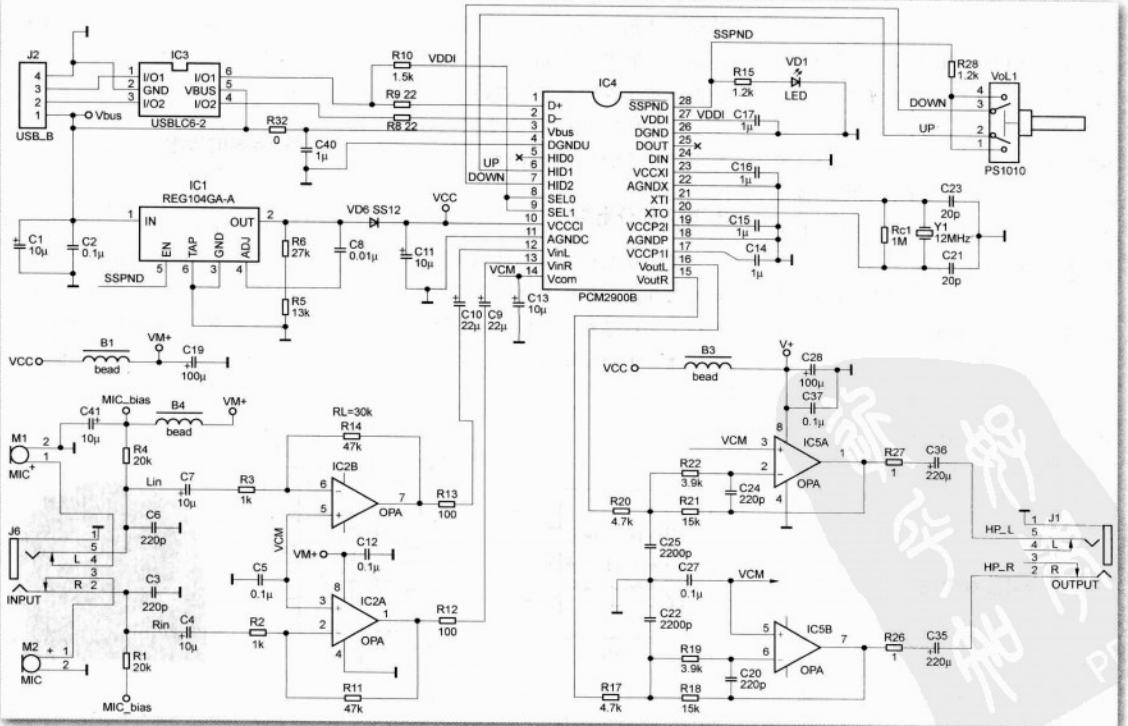


图1 电路原理

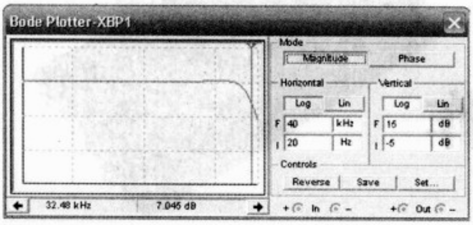


图2 LPF电路仿真频谱曲线

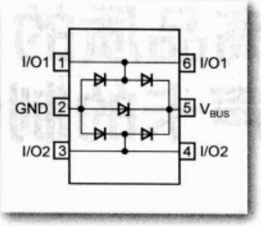


图3 USBLC6–2芯片内部原理图

（人机交互界面）接口。控制接口用来传送电脑对PCM2900B的所有功能的控制指令，两个音频流接口传送输出和输入音频流数据，HID接口则用来向PC产生中断，用于传送静音、音量增、减的操作信息。在芯片内，还带有DAC（数字－模拟转换）和ADC（模拟－数字转换）模块和时钟模块，组合成一个USB声卡基本结构。在设计中重点关注的是模拟电路和保护电路设计。

1. 输出部分电路

芯片内具有LPF（低通滤波）电路，截止频率在250kHz左右，外电路需要另外增加一个截止频率接近20kHz的低通电路。由于芯片输出阻抗较高，不能直接驱动耳机，所以用一颗双运放来搭建有源低通和放大功能的电路，增益在10dB左右。按照原理图中参数，用软件仿真，-3dB截止点在32kHz左右，仿真频谱曲线如图2所示。

运放的供电可以取用REG104GA-A输出电压。从PCM2900B输出音频信号的中点电平刚好是这个电源的一半，可以提供给运放作为工作点电压，所以之间不需要电容隔离。而运放的输出则需要串接直流隔离电容，为保证低频效果，串接的电容容量应不小于220μF。

2. 输出音量控制电路

音量控制有两种方式，一是在模拟通道上接电位器，对基于我们设计的输出电路结构，音量衰减只能在PCM2900B和运放之间加入电位器，但这个位置加装电位器可能导致LPF参数随音量改变而改变，不是最佳选择。所以我们利用了PCM2900B的6脚(HID1）和7脚（HID2），分别对应功能音量增和音量减。例如给6脚输入一个高电平，PCM2900B芯片就通过USB向电脑发送一个音量增加一级的指令，在电脑上看，音量控制的位置会相应变化一次， 每次调节1dB，衰减范围0dB～-64dB。接下来我们就要考虑如何产生这个高电平。一般想到的是用一个轻触按键，或者是单片机，这里我们选择的是旋转型的脉冲开关，在外观和使用上都类似于普通的音量电位器。采用HID控制音量的优点是控制元件不直接在模拟信号电路中，甚至不参与声卡芯片内的DAC模块，这样就减小了对模拟信号性能的影响。

3. 输入部分电路

输入电路设计有板载话筒，连接到输入插座，如果有其他信号接入，板载话筒自动断开连接。话筒的偏置电压通过电阻从电源取用。放大部分也采用双运放，增益可以根据话筒灵敏度或其他需要调整。

4. USB接口保护和时钟电路

作为USB从设备，USB声卡要考虑热拔插动作可能导致的静电损坏，所以要增加ESD保护管。同时，考虑到USB2.0的兼容，保护管要选择低等效电容的型号。意法半导体（ST）的USBLC6-2，它的I/O对地电容是0.015pF，且可完全满足USB2.0规范要求。抗静电方面满足15kV空气放电和8kV接触放电的要求。USBLC6-2内部原理图如图3所示。

可以看到芯片具有电源线的ESD保护功能，可以同时保护2根信号线。在使用中还需要注意，每个I/O有2个引脚，信号最好从一端输入，另外一端输出，类似将保护芯片串联在信号线上，这样可以达到最好的效果。推荐的接法如图4（a）所示，如果只是从线路上分叉引出线到保护芯片，保护的效果将大打折扣，因此不推荐图4（b）所示的接法。

5. 时钟电路的考虑

时钟是数字电路的心脏，PCM2900需要一个12MHz的时钟源。可以使用简单的无源晶体电路，接在21脚（XTI）和20脚（XTO）之间。晶体两脚之间要接一个1MΩ电阻帮助启振。时钟允许偏差在

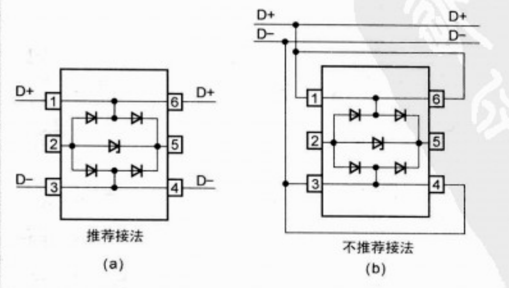


图4 ESD芯片的接法示意图

图5 指向性话筒实物图

11.994～12.008MHz之间，也可以采用外部时钟，例如有源晶体振荡器，直接输入到21脚（20脚悬空不接），不过TI的数据手册中不建议后者，理由是PCM2900B芯片没有用于停止晶体振荡器的控制引脚。

以上关键电路考虑周全后，就可以动手设计PCB和进行实物验证了。

二 PCB设计

得益于芯片的简化设计，电路不算复杂，不过有些方面还是需要考虑的。

声卡是模数混合电路，所以首先在元件布局上要考虑模拟和数字电路的区分，PCM2900B芯片的USB接口、HID接口和晶体振荡器电路等是属于数字部分，输入、输出以及运放电路是模拟部分。整个电路的地线要统一规划，可以选择模拟和数字地线分割，单点连接的方式，连接点最好选在芯片附近，同时不同类型走线不能随便跨越地线分割区。地线分割好处是模数信号可以减少相互干扰，但实际不容易做好，可以选择统一地线的方式。两种方式都要考虑到每个信号的回流路径，避免形成大的环路。

作为一款声卡，还要充分考虑几个接口的放置，一般要求靠近板边。对于距离长的走线，最好以地线屏蔽。晶体振荡电路要尽量靠近PCM2900B芯片，晶体下面不能走其他信号线。

另外USB部分的ESD保护芯片要尽量靠近USB插座放置，USB的D+和D-是差分线，要并行走线，并做到等长。

三 用料考虑

可以使用音频专用的TDA1308、OPA2228等可低电压工作的双运放，可根据不同的听感喜好选择。

USB插座推荐采用B型，强度比A型的插座高，如果要做一个外形小巧的声卡，可以选择mini USB插座。

驻极体话筒选择具有指向特性的型号，两个话筒可以在较小的距离内安装而实现较好的立体声效果。指向性话筒对环境噪声也有一定的减弱作用，这种话筒的外观特征是在话筒后部也有开孔，其外形如图5所示。

选择等效阻抗较低的电容作为电源滤波，配合WIMA、EVOX、ERO等薄膜电容，均有不错的效果；耦合电容对音质影响较大，可选择厂家音频专用系列，最好是双极性，这样对交流信号耦合效果好。另外由于电解电容个体偏差较大，两个声道电容建议配对。

四 实物制作

在以上准备工作都做好的情况下，就可以进行实物制作，只要认真、仔细焊接，电路很容易制作成功，做好的电路实物如图6所示。

用USB线将声卡和电脑连接起来，电脑自动识别出声卡的音频编解码（CODEC）以及人机接口（HID）功能。

一般系统会自动将该声卡作为默认声卡，就可以开始使用了。测试用

图6 声卡实物图

Foobar2000音频播放器播放蔡琴老歌，很意外，清晰和纯美，老歌吟唱如在面前，完全没有了板载声卡过多的音色修饰。之后，用Windows系统自带的录音小软件测试录音，并回放，背景宁静，声音保真度和灵敏度都较高。

一般情况下电路焊接无误即可正常使用，如果是电脑不能识别，先检查USB线是否正常，或更换另外一个电脑USB接口再试。之后可以检查声卡的USB相关电路，晶体振荡器电路等。如果可以识别，而部分功能不正常，可以检查相关电路，排除故障即可。在笔者实际制作中曾发现其中一个声道录音声音很小，检查对应话筒，发现是极性焊接反了，纠正后恢复正常。

总体来说，这款声卡很值得DIY一族来做！

相关知识链接

USB模拟语音芯片

USB模拟语音芯片可分为CODEC和DAC两类。

CODEC类芯片带模拟音频信号输入和输出功能，如德州仪器（TI）的PCM29XX系列。PCM2900B、PCM2901B、PCM2902B、PCM2903B、PCM2904B和PCM2906B功能相似，都带Line In/Out和HID控制，其区别是PCM2902B、PCM2903B和PCM2906B带S/PDIF输入/输出。另外，PCM2904B和PCM2906B为USB总线配置，最大可获取500mA电流，而PCM2901B和PCM2903B可外部供电，其他是USB总线供电。

DAC类芯片则是不带模拟信号输入功能，如德州仪器（TI）的PCM27XX系列。PCM2702为早期生产的芯片，它具有单一的音频输出功能，但信噪比较高，现已停产。PCM2704和PCM2705带HID和S/PDIF输出，PCM2706和PCM2707可选择I^2S总线或S/PDIF输入/输出。

电子管前级 + 电子音调的制作

◎古伟桓

现在的放音系统大多是合并式功放机和分体式的前后级功放机。分体式前后级功放机可将前级放大和后级分别推动用独立的机箱安装，在制作时可有很多变化的选择，当升级前级放大级或改进后级功放级时，因有独立的机箱而变得比较容易。在前级机的制作中，可选用电子管作为放大级、用全晶体管或全集成电路作音频放大级、还可用晶体管加集成电路组成放大级。各种放大级组合都有各自的音质和优、缺点。本人对上述几种的前级放大器都制作过，最喜欢的是用电子管作为前级的放大器，倒不是因晶体管功放的音质的表现如何，只是因为喜欢听“胆味”。本文介绍的这款电子管前级加上一个电子显示屏，当中自带一个双七段均衡器。

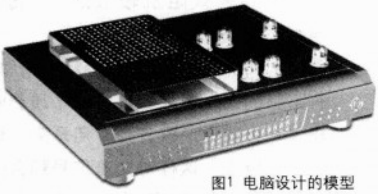


图1 电脑设计的模型

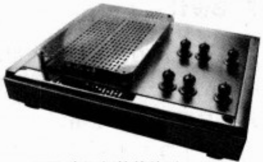


图2 实际机箱的外形

一 设计思路

该机的外形设计我是下了功夫的，与传统的机箱有所不同。在整机的突出部分分别采用有机玻璃和1.0mm的不锈钢板制作的，薄机身，外露的“胆”管套上金属套环作衬托。开机后电子管被点亮的红色灯丝能给人一种温馨的感觉，随音乐节奏闪动的频谱也增添视觉感。图1所示的是采用CAD（设计软件）设计的机箱外形图，实际的机箱外形如图2所示。

机内采用的是以JADIS（JP-200）为主的电子管放大电路，玩纯电子管放大是一种享受，加入电子均衡音调作调节频段音色又是一种玩法。在设计中，我精心选择电子零件，合理安排机内布局。这款胆前级的最大特点是在机箱后板设置了一个独立开关，当想试听各种音色时，只需拨动该开关，就能增加各种玩法。

二 前级放大器要求

本机以(JP-200)胆前级主板作主放大器，采用双管并联形式。双管并联的电子管的互导比原来增大了1倍，内电阻则减小一半，两只电子管特性的互补，使得前级放大器的性能更加卓越，线性更加理想。此外，还采用胆稳压供电、双L电感作电源滤波，从而使胆放大级全频率响应均匀、音乐感好、解析力高和声场定位准确。图3所示的是JP-200胆放大级和稳压电路板。

该机的电子均衡器（音调操作带遥控器，音调内置6种特定音效和手动调节)是购买的成品板。

图3 JP-200胆放大级和稳压电路板

三 前级放大器的主要用料选取

电源部分采用R形变压器、方形变压器，分级独立电源供电，胆机整流

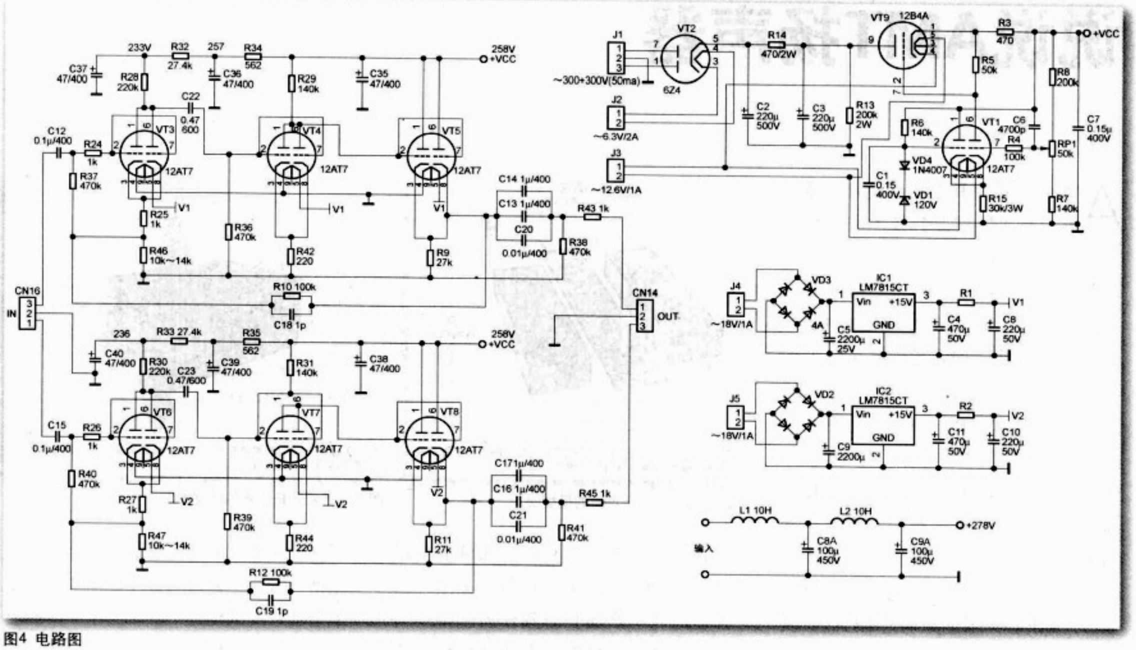


图4 电路图

稳压后输出电压+250V，灯丝电压经稳压后为12V。IC稳压为±15V、+12V、+5V。电子管采用6Z4、12B4A、12AX7EH、12AT7EH。音调采用的集成电路为OPA2134、NJU7305L。

四 前级放大器的工作原理

图4所示的是前级放大器的电路图。从R形变压器输出的250V电压通过VT2（6Z4）整流后，由12B4A稳压、12AT7作电压调整，调节RP1（50kΩ）电阻，使稳压板输出电压为 258V。此电压再经过串联L1、L2和并联C8、C9组成滤波器，得到的直流电压连接到JP200前级放大器的主板上。主板放大级由VT3管、VT4管组成共阴极放大电路，在VT3管、VT4管加有较深的电流负反馈，VT5是阴极跟随器。R10、R46组成整机大环路负反馈，以提高整机工作稳定性和频率响应。整个电子管放大级利用开关转换接到电子均衡器的放大级上，取消原均衡器的IC放大级，这样就能使到电子均衡器的信号都经电子管放大。这其中的均衡放大主板是购买成品板，因此其原理在此不作介绍。

第一级VT3选取俄罗斯12AX7EH，第二、第三级的VT4、VT5选取俄罗斯12AT7EH，放大级所有电子管采取直流点燃灯丝，两路12V整流后，经LM7815稳压滤波，分别供灯丝使用，以减小交流声。

输入电压放大采用高放大系数双三极电子管12AX7EH，采用双管并联形式，组成两级共阴极阻容耦合式放大电路，两级放大电路的开环电压增益可达60dB以上。为了减小相位失真，拓宽频率响应，在中间电压放大管与输出级电子管之间采用了直接耦合。第一级输入选取的电容为0.1μF/1600V西电油浸电容，第一级电容是通过实际听感后选取油浸电容，此电容是用来调音色的，它不要选取过大，过大会造成中低音变肥。第二级输入电容是0.47μF /1000V油浸电容，选取油浸电容主要是调整俄罗斯管偏清冷的音色。

输出级由俄罗斯中放大系数的12AT7EH来担任，采用双管并联形式，组成共屏极方式的阴极输出电路。其电路的特点是：输入阻抗高、输出阻抗低。方便接驳各类型的后级。同时阴极输出电路具有深度的电流负反馈作用，使放大器的失真度、频率响应与信噪比等各项电气性能得到很大的提高，从而满足听音要求。

五 试音效果

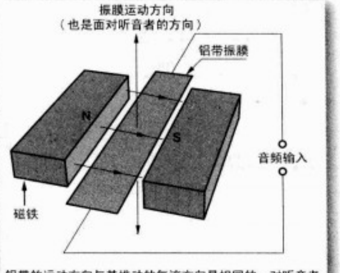
试音器材：CD马兰氏CD-63SE，接驳PCM1704四片组成的解码器，本前级（JP-200）推自做的仿马兰氏6550推挽功放。本机JP-200前级放音全频率响应均匀、动态饱满、大动态相当爆棚、中频人声好靓、音场宽阔、层次感特别好。特别是听佛寺的铜钟敲击声时，能清楚地听出铜器的撞击余韵声。

说说AMT扬声器

◎吴红奎

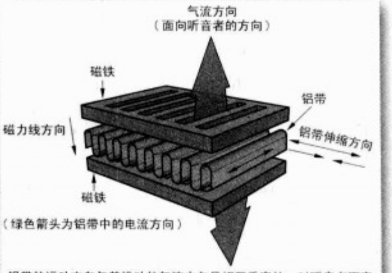
AMT扬声器也称海尔（高音）扬声器，也可以按照其技术原理称之为“气动铝带扬声器”，是新型的宽频域平面铝带扬声器，始于1970年前后。

1970年，德国的Oskar Heil（奥斯卡·海尔）发明了AMT扬声器并于1973年获得了相关专利，全称是“Heil Air Motion Transformer”（海尔气泵），简称AMT，后来也称为AVT（Oskar Air Velocity Transformer，奥斯卡气流速度变换器）。这项发明在解决铝带扬声器的振膜质量、惯性、谐振之间的矛盾以及频响方面提供了新的思路，时至今日，AMT扬声器的频响范围已经扩展到大部分的中频频域。



铝带的运动方向与其推动的气流方向是相同的，对听音者而言，振膜的运动方向是纵向的。

图1 传统铝带扬声器的模型图



铝带的运动方向与其推动的气流方向是相互垂直的，对听音者而言，振膜的运动方向是横向的。

图2 气动铝带扬声器的模型图

一 AMT扬声器的原理简说

1923年，Siemens Halske公司（德国西门子集团的前身）的Schottky（肖特基）和Gerlach（格拉赫）就申请了第一个带式扬声器专利，将一个很薄的波浪形铝带水平放置在两个磁体之间，铝带呈波浪形是为了改善其刚性并有合适的谐振频率，这就是铝带扬声器的原型，如图1所示。

铝带扬声器的振膜即音圈，没有独立的音圈，高频响应和瞬态响应非常理想，声音纯净，阻抗特性也非常平坦，但是由于材料、惯性、造价、体积、振幅的限制，这种铝带扬声器仅限于高音，而且因为阻抗比较低而往往需要加入阻抗变换器（图1中省略了）。同时从图1还不难看出，为了保证足够的磁场强度，一是需要很强的磁铁，二是两块磁体不能离得太远，铝带扬声器也大都是细长的身材。

为了改善铝带扬声器的性能，其后出现了不少的改良设计，如HiVi（惠威）的带式产品，利用高强度而且耐高温的Kapton（聚酰亚胺，美国杜邦公司的商标产品）薄膜作为铝带的衬底，这样铝带就可以很薄（据称厚度大约5μm），同时改进磁体的配置方式，HiVi称之为“平面矩阵磁场”。

另一种改进的设计是Planar-Magnetic（平面磁体）扬声器，因为磁体是扁平的，Kapton薄膜上的铝振膜就可以置于磁体前面很近的位置，铝膜也不用是狭长的带状而是一张矩形的薄板，面积可以很大，加之平面磁体也很薄，这样的扬声器可算是“真正”的平面扬声器了。只要振膜足够大，还可以重放中频，典型的制造商是美国的Magnepan（麦格尼潘)公司，它也是这种扬声器的开发者。但是这种扬声器仅仅是用于高频重放，面积就已经大得可以，所以实用的音箱，还是用Planar-Magnetic扬声器搭配动圈式的锥盆扬声器来完成整个音频频域的重放，更重要的是，这种扬声器比铝带扬声器更昂贵，而且大面积的平面磁体也显得有些娇贵。

将铝带扬声器和动圈式扬声器组合起来是另外一种天才的设计。单纯扩展铝带扬声器的频响是比较困难的，但是在功率不大时，铝带扬声器可以做得很薄、很小，并将其置于动圈式扬声器的音圈中间的位置，就相当于一个相位塞而已，用这样的思路制造的同轴扬声器综合了带式和动圈式扬声器的优点，性能远比纯粹的动圈式同轴扬声器优秀。同轴高音不再突兀于锥盆，也就不影响中音单元的声波辐射。带式高音的振膜比较靠后，位于中音单元的音圈位置，刚好可以弥补高音相位的问题，同时，铝带高音比动圈式高音的性能也要好一些。

如果把Planar-Magnetic扬声器的设计思路再拓展一下，即在振膜的前面再加一片磁体，使振膜位于两片磁体之间，这就是AMT扬声器的基本原理，如图2所示。与Planar-Magnetic扬声器不同的是，磁体仍然采用普通磁体而不是娇贵的平面磁体，振膜仍然是波浪形的，不是像“活塞”那样直接地推动空气，而是靠铝带伸缩的“呼吸”效应来推动空气发声。想一想我们吹口琴或者拉手风琴，就比较容易理解了。图2所示的扬声器相对于图1来说，磁体的空间位置旋转了90°，波浪形的振膜的受力方向也旋转了90°，相对于听音者而言，由纵向

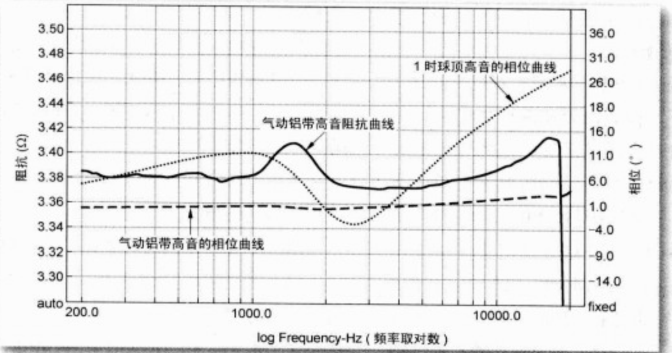


图3 使用美国DRA实验室的MLSSA声学测量软件测得的某气动铝带高音与球顶高音扬声器的特性对比图

变为横向了，波浪形的振膜变成了横向伸缩的“弹簧”，空气就会在“波浪”的峰谷之间吸进挤出，发出声音。为了不影响声波通过，磁体需要做成栅格形的，就像扬声器前面的防尘网那样，或者由若干个磁条组成，排列于一个固定支架上。

无论是外观还是原理模型，AMT铝带扬声器和之前的经典铝带扬声器都很相似，但实际上已经有了不少质的飞跃。

◆ 铝带由直线运动变为伸缩运动，对自身质量的苛求降低，铝带可以更厚、更长，所以阻抗像动圈式扬声器那样可以根据需要做成8Ω、16Ω、32Ω的，耐受功率也有所提高。

◆ 频响更宽，这一特性使中音AMT扬声器成为可能。

AMT铝带扬声器有着优秀的瞬态、高频响应，指向性也很好，阻抗特性平坦，相移很小，这是所有铝带扬声器的优点，静电扬声器也有类似优点，AMT扬声器与动圈式球顶高音的特性对比如图3所示。不足之处仍是不能覆盖全音域并且难以承受足够大的功率，目前的价格也依然昂贵。

二 实用的气动铝带扬声器

1. 开拓者：ESS之AMT

美国ESS（ElectroStatic Sound，静电声学）可能是第一个推出AMT扬声器的公司，时间大约是1970年，最先上市的是AMT-1音箱，AMT扬声器没有独立的型号，Oskar Heil发明的AMT也是因为AMT-1音箱而一炮走红。

◆ AMT-1，全称是ESS AMT-1，两路两单元倒相箱，外形像切去顶端的金字塔，低音是10英寸的锥盆动圈扬声器。

◆ AMT-1a，它是AMT-1的改进版，低音单元换成了12英寸并增加了一个ABR无源辐射器（Auxiliary Bass Radiator，辅助低音辐射器，空纸盆）。

◆ AMT-3，也叫Rock Monitor（摇滚乐监听箱），三路四单元倒相箱，中音是6.5英寸，低音为两个10英寸的锥盆动圈扬声器。图4所示的是AMT-3音箱上的气动铝带高音的实物，外形尺寸：171mm（宽）×115mm（厚）×150mm（高），每只净重6kg。

上述三款音箱是AMT早期比较有影响力的，其中的AMT扬声器以及音箱，直到2006年，美国市场上仍然可以买到，现在的二手市场上，AMT扬声器仍然价格不菲，德国著名的音响杂志Hobby Hi-Fi（高保真爱好者）在2002年的第5期上也还在介绍AMT-1。实际上，ESS至少在1990年之前就已经关门了。

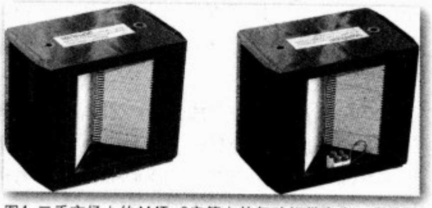


图4 二手市场上的AMT-3音箱上的气动铝带高音，售价约460美元/对

图5 Precide SA生产的三款采用气动铝带扬声器的音箱

在IA（Internet Archive，网络档案馆）的网站上，还有ESS公司的PS8A、PS8H、AMT-1D、AMT MONITOR（监听箱）等音箱的基本资料，PS系列应该是ESS后期的产品。以AMT-1D为例，从IA网站上获知的资料来看，AMT-1D的箱体单元与AMT-1a相同，AMT的振膜面积为138.7cm^2，音箱的基本技术规格是：音箱的标称阻抗：6Ω；频响：35Hz～23kHz（±3dB）；分频点：800Hz，灵敏度：91 dB/W/1m，承载功率400W。承载功率的意思是音箱可以承受正弦波均方根功率，即常说的RMS功率，与之类似的还有耐受功率，指的是音箱可以承受的瞬时峰值功率，也叫音乐功率。

2. 守望者：Precide SA之Kithara

瑞士的Precide SA成立于1973年，目前除了“ERGO”品牌的耳机及耳放，还有“MDM”品牌的线材，采用AMT扬声器的音箱目前有三款：Kithara、Aulos（古希腊乐器，类似竖笛）、Syrinx（排箫），使用Heil AMT和

Right Fi商标，一对的售价折合人民币分别大约是4万、1.8万、3万，实物如图5所示。

Kithara音箱支持双线分音，箱体单元安装于顶部，AMT在上，开口为水平方向，频响：700～23000Hz；10英寸低音锥盆动圈扬声器在下，开口方向垂直向上，与之对应的倒相孔位于音箱底部，开口垂直向下，主要技术规格为：2路2单元倒相箱；频响：28Hz～23kHz；分频点：700Hz；灵敏度：94dB/W/1m；标称阻抗：4Ω；外形尺寸（宽×深×高）：400mm×400mm×1100mm；箱体与外饰：多层胶合板，喷漆颜色有胡桃木深棕、樱桃红、黑色三种；净重：每个35kg。

3. 革新者：ADAM之ART

ADAM（ADAM Audio GmbH，雅登，非官方中文名称）是德国的专业音响品牌，全称是Advance Dynamic Audio Monitors Audio GmbH，1999年开始营业，主要产品原本是演播室监听音箱，在专业市场颇有声誉，英国的RuX music（P11A）、Abbey Road Studio（5.1 ADAM S3A），意大利的Zappata and Partners（S6A MK2），日本的ONKIO HAUS（5.1 ADAM S5A MK2）等都是它们的客户，据称，《指环王》的音轨合成监听系统，也是ADAM的产品，型号不详，抑或是定制的系统。ADAM现在的产品已经涵盖了高端家用音箱市场，有5大系列的产品，最顶级是售价高达32.5万美元的OSS（Olympus Sound System，奥林匹克声音系统）音箱。

ADAM和Oskar Heil博士也有很深的渊源，ADAM的老板兼首席工程师Klaus Heinz（克劳斯·海因茨）曾经是Oskar Heil博士研究AMT时的工作伙伴。AMT专利过期后，Klaus发展改良了AMT，形成了自家的ART（Accelerating Ribbon Technology，加速铝带技术），原理模型如图6所示。

ART仍然属于AMT，ART的创新之处在于：横截面为波浪形振膜由近似的正弦波变成了矩形，压缩气流的方向也由双向变为朝向听音者的单一方向。基于这种ART技术的气动铝带高音扬声器的高频下端延伸得更低，更为重要的是，ADAM公司还进一步开发出了ART气动铝带中音扬声器，频响下端扩展到了300Hz，与一般动圈式中音扬声器的性能已经相差无几。

和ESS类似，ADAM的ART扬声器也主要是用于自家生产的音箱上，同样没有很具体的型号，表1所示的是从音箱的技术参数中摘录出来的ART扬声器的技术参数。对于常见的动圈式扬声器以及平面扬声器中的静电扬声器，还有AMT之前的铝带扬声器，推动比接近于1，AMT扬声器的推动比能够大于5甚至更高，ART则略低一些。由于铝带扬声器面向听音者的开口形状常见的是方形或者是矩形的，所以为了和球顶等圆形开口的扬声器作比较，就有了等效直径的说法。

图7显示了ART高音扬声器的大致结构，中音也大致与之相同，差异的地方主要是振膜的大小、厚度等，图7中也显示了没有折叠之前的铝带振膜，据说铝膜的折叠完全靠手工来完成，而且是女工，这就有点玄。从表1来看，中音的振膜质量大约是高音的5倍，除了面积增加，厚度也增加了。与图2所示的ART原理模型图相比，实际的AMT以及ART扬声器所用的磁体不一定是格栅形的，还可以是多个磁条等间距地排列在一起，外围框架可以是一般材料，也可以是与之极性相反的磁性材料，这就可以制成防磁单元。

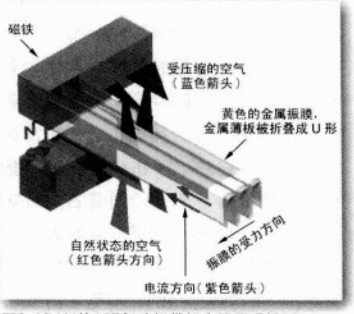


图6 ADAM的ART气动铝带扬声器原理模型

除了图7所示的ART单体，ADAM还开发了将两者安装于同一塑料面板上的中、高音组件：X-ART，其中的“X”表示“eXtended frequency response”（扩展的频率响应），排列方式有两种，如图8所示，一种是葫芦形的，一只高音，一只中音；另一种是哑铃形的，一只高音，两只中音。X－ART除了结构上更加紧凑，性能上有所提高，高音的灵敏度提高了5dB，中音则提高了3dB，同时高频响应还延伸到了50kHz（－3dB）。这么高的高频响应是否有实际意义，还需要时间来检验，毕竟，铝带高音目前还都限于比较高端的产品，听过的人不多，实际应用也很有限。

ADAM的音箱追求的频率响应是无限延伸的，箱体的低音、重低音单元采用的是德国ETON（伊顿，非官方中文名称）的HEXACONE（六面锥体音盆）动圈扬声器。除了重低音音箱大都采用有源方式，不少型号的音箱则内置了全部单元的功率放大器，可以称之为全频有源音箱，有些型号还有完善的音量、音调调节功能，这是

表1 ART高、中音扬声器的部分技术参数

种类	ART tweeter（ART高音）	ART Midrange（ART中音）
推动比	4.2:1	3.7:1
灵敏度	93 dB/W/m	不详
标称阻抗	3.2±0.05Ω	不详
相移	± 1°	±0.75°
频响	1.2～35kHz	600Hz～3.2kHz
振膜质量	15g或17g	72g
振膜面积	710 mm²	2130mm²
等效直径	95mm	165mm

注：推动比：振膜运动速度与振膜推动空气的运动速度之比；

等效直径：振膜面向听音者的等效圆面的直径。

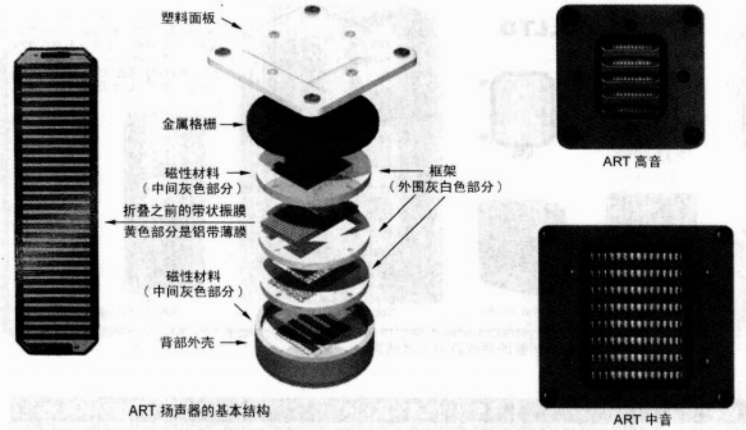


图7 ADAM的ART气动铝带高音扬声器结构简图和高音、中音气动铝带扬声器实物

监听箱比较通行的做法，ADAM将之扩展到了家用产品，连前级都可以省了，如昂贵的OSS的音箱系统就是一款全频有源的音箱。ADAM音箱内置的功放也并不是传统的线性功放，而是D类，功放部分用的是ICEPower。丹麦Bang & Olufsen a/s公司生产的D类功放组件，基于COM（Control Oscillation Modulation，振幅采样移相调制）技术的PWM调制方案，包含功放和所需要的电源，模拟输入方式。

ADAM实际的音箱产品实例如图9所示，基本的技术参数如下，需要注意的是音箱的整体技术规格，而不是单单指上面的ART气动铝带扬声器。

Compact家用音箱：2路2单元无源倒相箱，186mm低音HexaCone®单元1只，ART气动铝带高音单元1只。频率响应为40Hz ~35kHz，承载功率100W，耐受功率150W，外形尺寸：210mm（宽）×435mm（高）×290 mm（深），净重为12.4kg。箱体及前面板的外观颜色4种可选：枫黄/银白、樱桃木棕/银灰、黑/亮黑、浅银灰/亮银灰，质量保证：10年。

S6A MK2监听音箱：4路7单元有源低音倒相箱，XLR输入，高低音调节，3参量重低音调节（20~500Hz），内置2 ×500W（分别驱动重低音单元）、3 ×150W（分别驱动低、中、高音单元）D类功放，310mm重低音单元2只，186mm低音单元2只，均为HexaCone®单元，中、高音单元为哑铃式ART气动铝带扬声器组件，频率响应为23Hz~35 kHz，外形尺寸：940 mm（宽）×720 mm（高）×500mm（深），净重为103kg，质量保证：2年。

4. AMT的新生：FAL之Flat，似是而非的AMT

如果把图1所示的经典的铝带扬声器的模型从另一个方面发挥一下，保持磁体配置不变，把铝带振膜想象成一个线圈，把这个线圈作为扬声器的音圈，就有了图10所示的另一种平面扬声器的模型，这是日本FAL株式会社（有限公司）的Flat扬声器的原理模型，Flat是平面的意思，这是一个非常直白的命名：平面扬声器。Flat的设计者是该公司的老板Furuyama（古山磐雄），他的名下还有一个Furuyama Audio Lab（古山音频实验室），FAL公司位于日本的神奈川县。

Furuyama是AMT气动铝带扬声器的推崇者，FAL公司在ESS公司生产气动铝带扬声器的时代就已经开始生产自用的AMT气动铝带扬声器，型号是FAL AMT，至今还在生产。不过Furuyama并不满足于AMT扬声器的性能，最终研制成功了全音域的Flat扬声器， 1982年在全日音响展览会上首次发布，实物参见图11。虽然Furuyama的灵感来自AMT，或者说是受AMT的影响，但是Flat已经不再是AMT扬声器

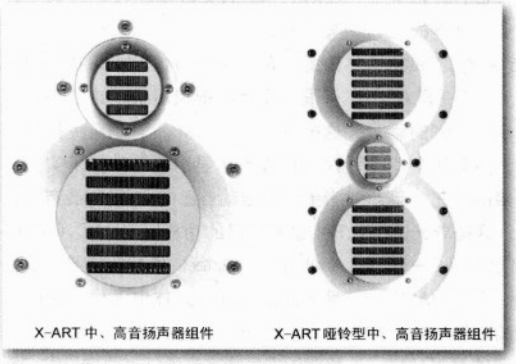


图8 ADAM的X-ART气动铝带扬声器中高音组件

图9 ADAM的家用（左）和监听级（右）音箱

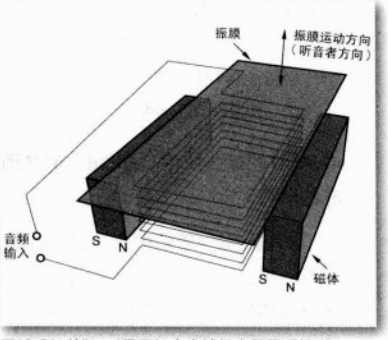


图10 FAL的Flat（平面）全音域扬声器原理模型

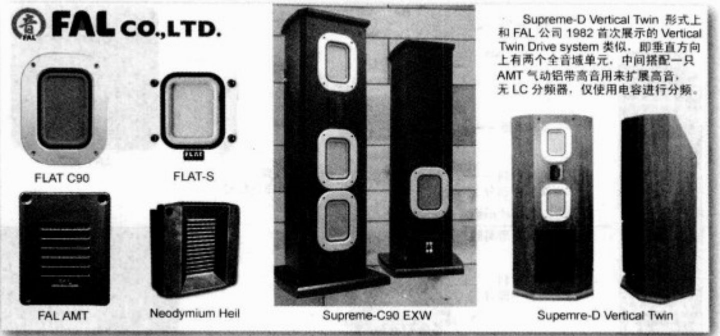


图11 FAL公司采用Flat扬声器的两款音箱及其扬声器

表2 FAL扬声器的一些规格参数

型号	频响	效率	阻抗（Ω）	外形尺寸（高×宽×厚）	净重	参考售价（美元）
FLAT C90	27Hz～12kHz	97dB/1m	4、8、16、32	260mm×199mm×70mm	2.2kg	3150/只
FLAT-S	50Hz～19kHz	95dB/1m	8	148mm×128mm×55mm	1kg	1575/只
Neodymium Heil气动铝带	1000Hz～26kHz	103dB/1m	6	150mm×160mm×80mm	5kg	
FAL AMT气动铝带	1200Hz～23kHz	95db/1m	6	114mm×89mm×80mm（含突起）	1kg	1690/只

表3 几款FAL音箱的规格参数（ABR为无源辐射器）

项目	Supreme-C90 EXW	Supreme-D Vertical Twin	Supreme-S
箱体单元	FLAT C90×2+FAL AMT×1+ABR×2	FLAT C90×2+FAL AMT×1	FAL FLAT-S×1
分频点	10kHz	10kHz	
承载功率	100W（最大120W）	100W（最大120W）	
推荐输入功率	≥8W（胆机）/50W（石机）	≥8W（胆机）/50W（石机）	≥8W（胆机）/50W（石机）
频率响应	25Hz ～23kHz	27Hz～23kHz	50Hz～19kHz
灵敏度	97dB/1 m	95 dB/1 m	95dB/1m
标称阻抗	4Ω、8Ω、16Ω可选	8Ω	6Ω
外形尺寸（高×宽×厚）	1210mm×341/467mm×338/400 mm	1330mm×600mm×400/500 mm	930mm×200mm×150/250mm
重量（只）	36kg	36kg	14kg
参考售价（美元）	18960	26720	36000

了，因为无论是经典的铝带还是AMT以及ART，均没有独立的音圈，振膜即音圈，而Flat有独立的音圈和振膜，更接近于动圈扬声器。更重要的是，它是一款全音域的扬声器，与其他平面扬声器还有些不同的是，Flat不是低频下不来，而是高频上不去，技术参数如表2所示。Flat和铝带扬声器一样都有很平直的频响和阻抗曲线，振膜也是一样地轻盈，Flat又和动圈扬声器一样，阻抗可以很低也可以比较高。Flat的振膜是平面的，振膜和音圈的形状都是矩形的，磁体实际上也是矩形的，只是只有一半，并不像动圈扬声器那样是环状闭合的，这是它和动圈式扬声器不同的地方。Flat的悬边自然也是矩形的，而且是Double edges（双折环）悬边，一个向前，一个向后，如果一个折环的形状看作半圆的话，两个折环就是正弦波形状了。

图11还显示了两款采用Flat扬声器的音箱，是Flat和AMT单元的组合，FAL也有一款只采用Flat扬声器的音箱，型号是Supreme-S，表3所示的是三款音箱的技术参数。FAL的音箱型号和扬声器的型号一样少，剩下的几个型号是改型以及特别定做的。Flat扬声器目前只有两个型号，一个是FLAT C，另一个是FLAT－S。S是Small的意思，即比FLAT C小一号。另有两个型号的AMT，作为Flat扬声器的补充，用来扩展音箱的高频响应。这些单元的技术规格如表3所示，可以和表2进行对比。从表2中不难看出，FAL的AMT和ADAM的ART气动铝带高音扬声器相比，频响是一样的，幸运的是ADAM开发了ART中音，不然，ART还真是无优势可言。

Flat扬声器非常适合再现大型管弦乐队的真实声音，声音取向有别于常见的动圈扬声器以及其他类型的平面扬声器，所以才说它是似是而非的AMT。Flat的灵敏度比较高，这一点与动圈式的全音域扬声器非常接近，因此非常适合大多数胆机来推，日本有很多发烧友推崇胆机，这正好适合这些发烧友的口味。为了避免搭配失误，抑或为了显示自己的技术实力或者更好地推动自己的Flat扬声器音箱，FAL也有自己的功放以及DAC（Digital Analog Converter：模数转换器），型号分别是Final（分体电源供电的胆功放）、V-DAC-7DX（电子管DAC），价格对国内发烧友来说，也同样昂贵。

DIY一台有个性的M5桌面小甲功放

◎牛歌　张新苗

我计划牛年的大制作是一台SA300全平衡功放。为了确保充分展示出本人的最高水平，决定先做一台桌面小甲功放热热身。

由于是桌面功放，所以电路不能太复杂，PCB板的尺寸也不能太大，同时还要保证一定的声音素质。综合以上因素，决定选用hifidiy论坛伟良兄的M5电流型功放。

M5功放电路比较简洁，其电路原理如图1所示。它是由一台名为F3的电流型前级改进而来，该电路调整了部分参数，增加了电流放大级。从图1可见：电路上、下对称，输入级采用K170/J74场效应对管（VS1、VS2），使输入级具有很高的输入阻抗和很低的噪声，同时场效应管可以使用自偏压，也简化了输入级的偏置电路。由于K170/J74的耐压不高，所以采用C2240/A970（VT1、VT2）及分压电阻R1、R2和R5、R6，为场效应管提供合适的工作电压。电压放大级由VT6、VT9组成，它们与输入级的连接采用的是反射电流源，这部分电路分别由VT3、VT4、VT5和VT7、VT8、VT10组成。输入级的静态电流约为2mA，电压放

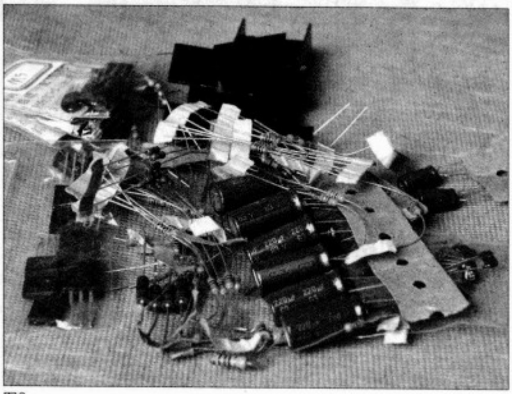


图2

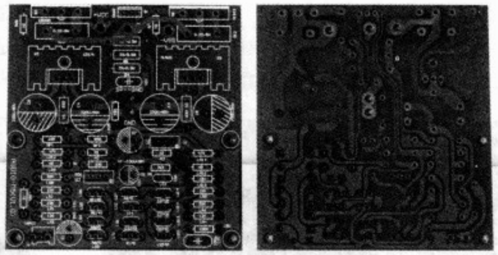


图3

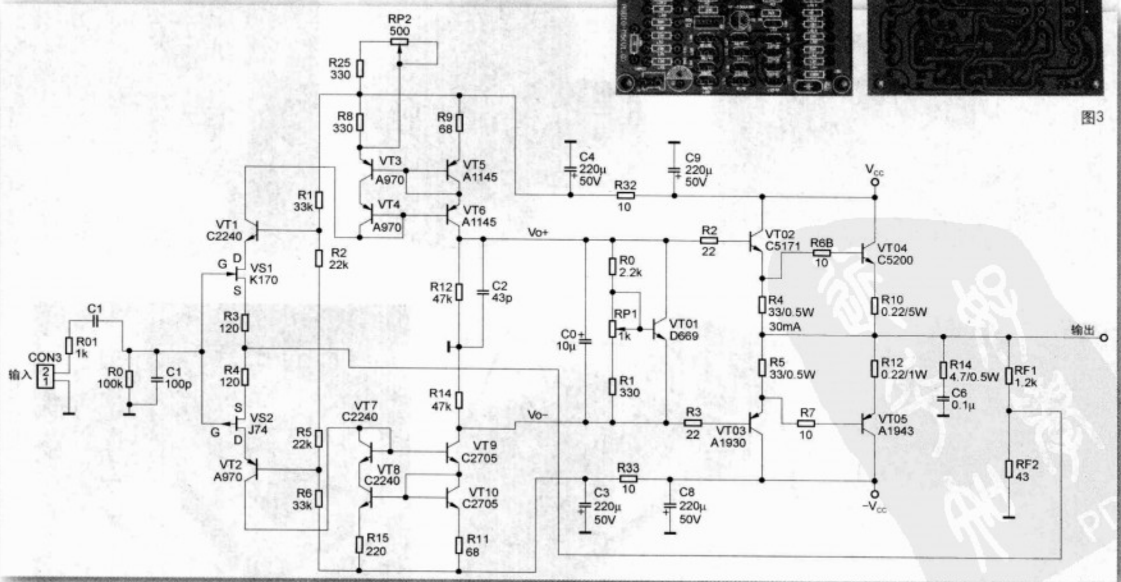


图1

图4

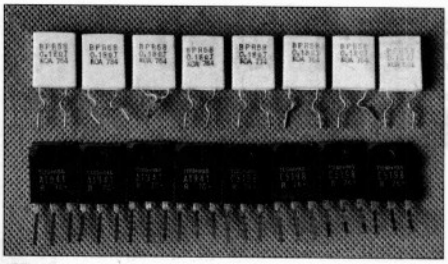


图5

大级的静态电流约为6mA。输出级是一个很典型的两级达林顿式的射极跟随器架构，VT02、VT03组成推动级，VT04和VT05担任末级电流放大，VT01负责为输出级提供温度补偿，确保整个线路的温度稳定性。在电流输出级和电压放大级之间，加入了由C4、R32、C9和C3、R33、C8组成的CRC滤波电路。由于R32和R33的隔离作用，当功放大动态输出时，可以使上下浮动的电源电压不至于对电流放大级之前的电路产生太大的影响。

M5的套件如图2所示，其PCB板如图3所示。配套使用的开关和接插件等如图4所示。

由于是甲类功放，每声道采用双管并联。我选择的是SA1941/SC5198，选择这个对管并没有特别的原因，只是正好手上有4对，而且配对非常精确，误差不到3%，见图5。

为了解决甲类功放的高热量散发问题，特地动用了库存多年的异形散热器（原来用在某电源设备上的），包络体积为10cm×10cm×13cm，单个散热器可以确保耗散40W的热量。

为了尽量减小占地面积，整体布局设计原则是向空中发展，所以就搞出一个比较少见的布局：机箱上部是4个大型散热器，功率管安装在散热器上，通过连线引入机箱，机箱内以倒挂的方式安置电源板和功放板。这样的好处是散热器产生的巨大热量可以直接对流向上散发，对下部机箱内的电源和功放板的影响会比较小，有利于整机的热稳定性。电源板和功放板倒挂式安装，可以有效缩短引线长度，简化整机的装配，安装和调试时，只要拆去底板就可以进行，不需要把整个机器搞得七零八落。侧板使用10mm厚的铝板，其余均使用3mm铝板，由10mm铝方条进行部分连接。最后的整体尺寸为240mm×280mm×270mm（W×D×H），可见尺寸还是比较小巧的，占地面积与一张A4纸相当，是名副其实的桌面功放。图6所示的是机箱结构件集合，图7所示的大型机脚，

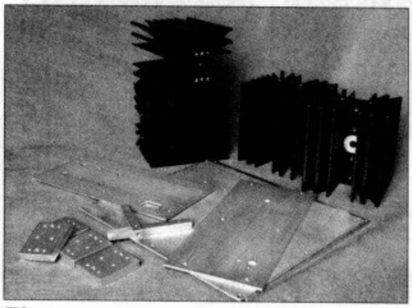


图6

图7

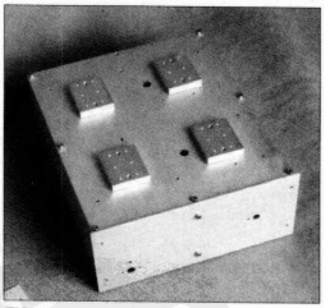


图8

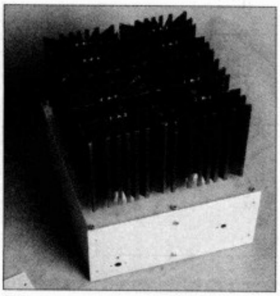


图9

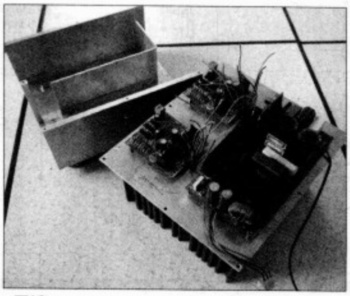
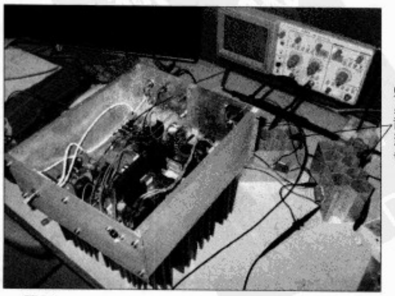


图10



蜂巢散热器

图11

图12

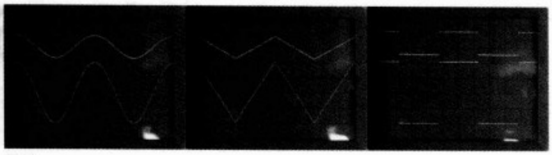


图13

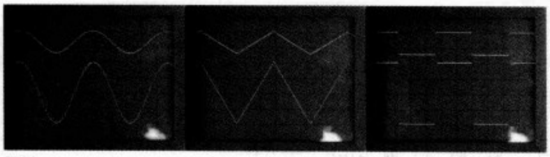


图14

图8所示的是下部机箱组装图，图9所示的是整体组装图。

电源电路还是选用我所钟爱的开关电源。这次使用的还是很老的存货：天龙的DNC－450A（功率为450W，输出调在±35V）。简单计算了一下，目前的散热器可以支撑静态电流到1.2A（一个声道），这样每声道在8Ω负载上可以输出的甲类功率超过20W，即使保守一些，作为一台桌面功放，近场聆听，这个输出能力也是绰绰有余的了，何况甲乙类可以输出50W以上的功率。

需要注意的是：设计小个头的机器远比大块头机器要考虑细致，大机箱空间大，散热好，布局的灵活性和余量大，考虑不周也不会出现大问题。而小机箱里的各个部分的排布，相互的连接，安装的顺序都必须非常精确，一不小心，就会发生问题，甚至会导致整个方案半途而废。所以在动手之前，为了确认每一个细节都在掌控之中，花费了很多精力。整个设计和安装都进行得比较顺利，上、下机箱组装后的效果见图10。

加电测试：先调RP2将中点输出尽量调在零位，然后调RP1设定末级的静态电流。首先调在100mA，然后回头复调一下中点电位。稳定一段时间后，逐渐增加静态电流到设定值，每增加一些，都要观察一段时间，确认静态电流稳定后再继续增加，同时配合调整中点电位。

测试用了25Ω/25W的金封功率电阻作为假负载，两只并联（实测电阻约12Ω），分别安装在两个蜂巢散热器上，见图11。

M5功放在各个频率上的测试波形如图12~14所示，最好是用双踪示波器对比观看波形，重点看输出波形与输入波形相比有无失真。使用不同频率的信号是为了测试功放在各个频率下的表现。

最后，静态电流接近1.3A，整机的静态功耗达到了170W，可以确保8Ω负载上得到25W的甲类功率，散热器的稳定温度约50℃，室温大约17℃。

这个温升是比较安全的，即使夏天30℃温度下使用，散热片的温度也会在65℃以下，对于甲类功放来说这个温度是没有问题的。由于整机冷态与稳态的温度相差很大，装箱后发现电路的中点漂移比较明显，最大超过了100mV，这会对听感造成影响。为求完善，在底板上加装了一个九洲风神的8cm液态轴承风扇，另加了一只7809三端稳压，让风扇工作在9V电压下，这样，要距离很近才能听到噪声。而中点电压的漂移则降到了50mV之内。加装后底板与背板见图15，整机完成图见图16。

音质目前不能作最后的评价，也许以后还会有所调整。由于音质是整个系统的综合表现，特别是功放与音箱的搭配千变万化，很难下个定论。目前只能说“不错”。

M2与M5的合影见图17。M2本身就不算大，M5的占地面积又小很多，达到了预期的设计目的。

图15

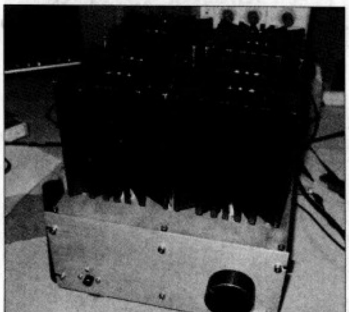


图16

图17

用分立件打造靓声运算放大器

◎廖茂柏

随着科技的进步，音频领域应用的各种超低噪声、超低失真、超高共模抑制比的集成运算放大器（简称运放）越来越多，如OPA627、OPA637、LM4562以及LME49710等。虽然这些运放的指标都很高，但用其打造出来的声音，却很难做到平衡、耐听？究其原因，个人认为是运放固有结构造成的。我们知道，运放是在一小片硅片上刻出来的，运放电路中的电阻用三极管组成的恒流源来替代，电容用PN结电容替代。这样的设计，虽然电路指标能达到很高，但对于音色来说，不一定就保证有好的结果。这也是为何世界顶级的前级大多是分立器件组成的原因之一吧。运放结构小巧，使用灵活，那么我们能不能设想用分立件制作一个小小的模块来替代原电路中的运放呢？这个模块应该具有体积小、DIP8封装（好直接替代原运放）、音色平衡、自然的特点。经过仔细分析和研究，感觉用分立件DIY一个单运放，还是可行的。

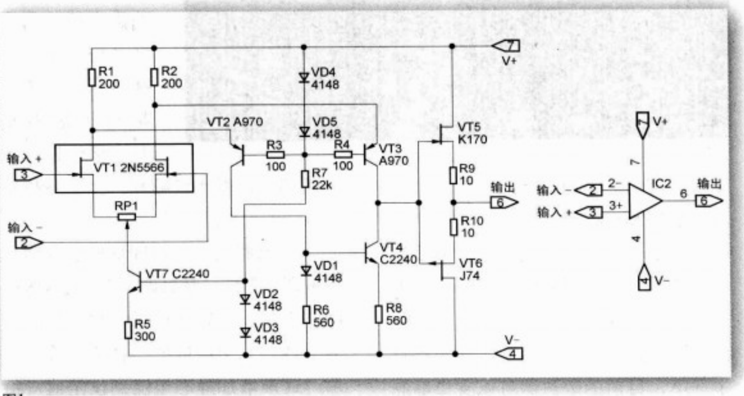


图1

一 电路的选型

首先明确，我们DIY的目的主要是解决运放音色不平衡、不耐听的问题，因此这个电路需要有较好的调音作用。根据这一目标，我选择了马兰士的HDAM作为蓝本。HDAM在烧友圈中很有名，有很多烧友开发了基于HDAM电路的前级电路板。该电路的特点是低频结实有弹性，中频淳厚，高频解析力也不错。在HDAM的基础上我稍做修改，完成的电路图如图1所示。

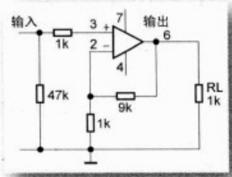


图4

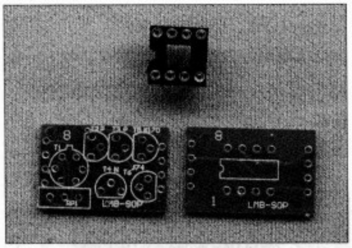


图2

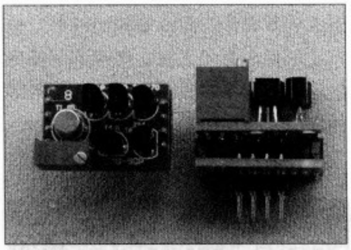


图3（b）

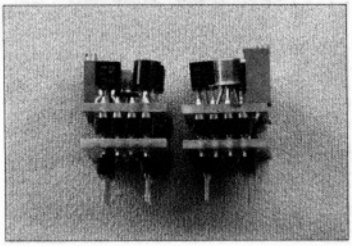


图3（a）

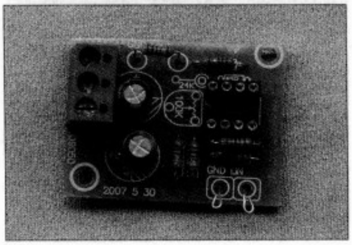


图5

图1所示的电路看起来不复杂，但仔细分析，会发现这个电路并不简单，可谓麻雀虽小，五脏俱全。该电路包含了三极管的三种最基本的放大电路形式，即共源、共基和共集（共漏）电路，还有恒流源、镜像电流源等。这个模块的工作原理是：输入级采用场效应差分输入，是典型的共源极放大形式。场效应管具有输入阻抗

高、噪声低、频响宽的特点，用于输入是最好不过了。VT7、VD2、VD3、R5组成恒流源，作为输入管的源极负载。因为恒流源的交流阻抗非常大，用这个有源电路来替代源极无源电阻，可以使得电路的共模增益非常小，达到抑制共模干扰的作用，同时也可以使电路工作稳定。

流过VT7的恒流电流，可以这样计算：因为$V_{BE7}+V_{R5}=V_{D2}+V_{D3}$，其中$V_{BE7}$是VT7的基极与发射极电压差，$V_{R5}$是电阻R5上电压差，$V_{D2}$、$V_{D3}$分别是二极管VD2、VD3上电压差。又因为$V_{BE7}=V_{D2}$，所以，$V_{R5}\approx V_{D3}\approx 0.6V$，$I_{R5}\times R5\approx 0.6V$，将$R5=300$代入，最后得到：$I_{R5}\approx 2mA$。即流过VT7的集电极电流是2mA，那么每只场管的静态电流是1mA。

由VT2、VT3及周边器件组成了第二级电压放大级，是典型的共基极放大。共基极放大的特点是频响非常好，这对音频来说，就可以使频响得到很好的高频延伸，细节更丰富。由VD1、R6、VT4、R8组成的是镜像电流源，分别作为VT2和VT3的负载。镜像电流源作为负载，同样具有非常大的交流等效电阻，对抑制共模干扰有很明显的效果。本级每管电流设计在2mA左右。

共基极放大虽然有很好的频率响应，但其输出阻抗高，不能直接带负载，因此由VT5、VT6组成的第三级共漏极放大作为输出电路。共漏极放大具有输入阻抗高、输出阻抗低的特点，虽无电压增益，但有很好的电流放大作用，因此很多地方都用该电路作为输出来驱动负载。

二 模块的结构设计

为了使模块能与DIP8封装的运放直接替换，最好能将模块做得与之相当。为了减小模块的面积，选用贴片器件是一种解决方案。电阻、二极管可以选用0805封装的，但适合音频应用的低噪声贴片三极管就非常少见，特别是场效应管，几乎没有见到过。因此音频通道的三极管还是选用了常见的TO92封装的。这样，模块的面积就比较大了，达不到直接替换原运放芯片的目的。既要好声，又要小体积，鱼与熊掌，如何兼得？

被这个问题困扰了好一阵子，一直找不到好的解决办法。一次偶然，见到儿子在玩积木，一层一层地往上堆积，脑中灵光一闪，呵呵，对啊，我的模块也可以设计为两层叠加式的，下面一层为DIP8转接排针及少量元件，上面一层安排主要器件，上、下两层再用排针连接固定，这样不就可以解决体积问题吗？说干就干，很快画出模块.PCB文件，然后送厂打样。没几天，PCB板到手，如图2所示。板子尺寸长22mm，宽16mm，感觉很秀气，图2中的电路板旁边就是普通DIP8座子。

三 元器件的选用

原HDAM输入管子选用的是2SK389，这是一款很经典的孪生场效应管，只是这枚管子体积较大，因此决定模块的输入管选用金封孪生管2N5566。2N5566在很多经典名机中都有它的身影，如Goldmund（高文）、MBL等。虽然2N5566成本很高，但它体积更小，音色偏暖又不失解析力，用在这个模块上是最好不过了。

中间级选用TO92封装的音频低噪管，种类有很多。在此采用比较常见又好声的音频低噪对管2SC2240/2SA970。输出级场管选用的是东芝名管2SK170/2SJ74，这对管也是原HDAM采用的，除了J74的耐压稍低，导致模块不能上更高电压外，其他指标和听感都还很不错。

RP1是微调输出中点电压的，这里选用3296型精密可调电阻，可使电路稳定可靠。最终完成的模块如图3所示，很漂亮的哦！

四 性能测试

模块完成之后，性能到底如何呢？这个当然得做一个初步的测试。作为一般DIYER，手上没什么专业测试仪器，目前就只有示波器和信号发生器，因此决定做一个方波响应以及频响测试。

首先搭建一个测试平台，做一个标准的10倍同相放大器，原理图见图

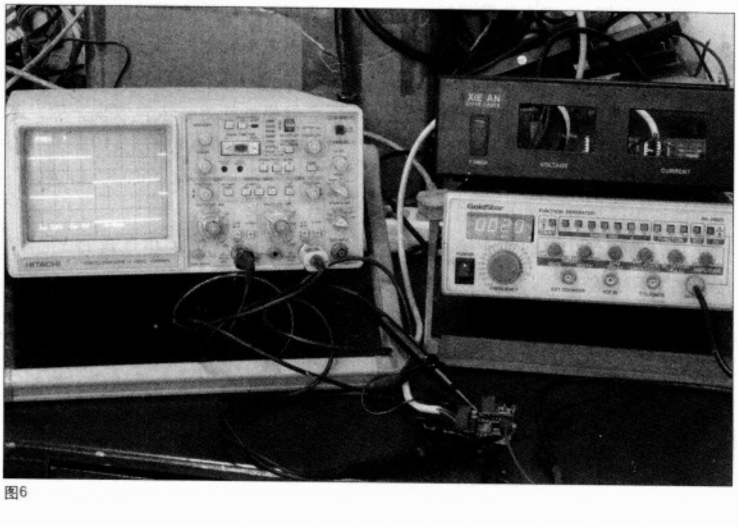


图6

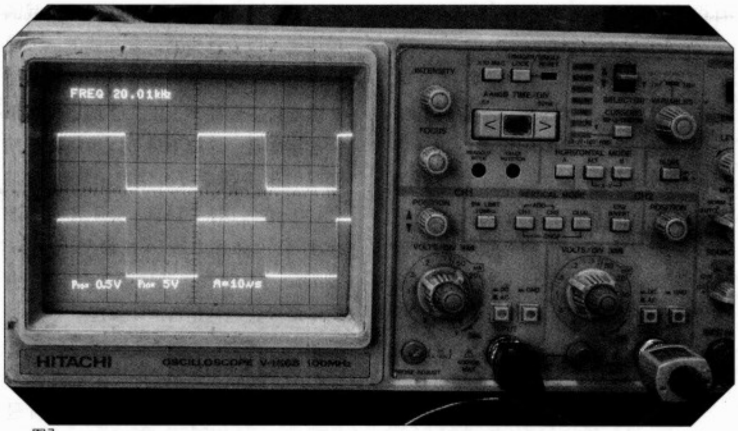


图7

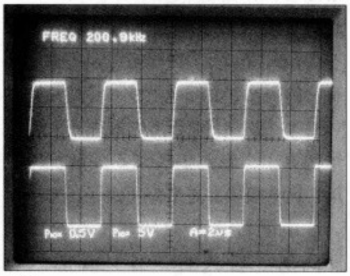


图8

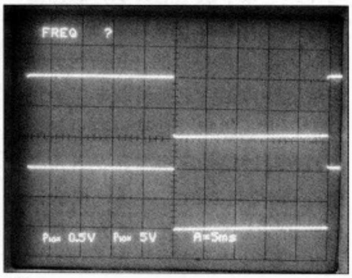


图9

4，然后在网上淘一个单运放PCB板，做成电路板如图5所示（9kΩ的电阻没这种标称规格的，就用了两只18kΩ的并联）。

电源采用自制的LM317/337稳压电源，输出电压调整到±15V。放大板插上模块通电之后，测试静态输出电压是0.1V，还好，调整RP1，使输出电压尽量接近0V，最终静态输出中点电压能保持在几个毫伏以内，初步说明模块制作成功了。

接下来连接好信号发生器以及示波器，如图6所示。信号发生器是GoldStar的FG-2002C，频率0～2MHz连续可调，输出有正弦波、方波和三角波。示波器是日立V-1565，双踪100MHz，带自动频率测试，比较方便。测试时显示屏调整到下面显示输入波形，每格幅度1V，上面显示输出波形，每格幅度10V。

模块测试时选择方波信号输入，因为方波测试最能反映被测器件的性能，因此信号发生器输出幅度调整到$1V_{P\text{-}P}$，频率20Hz，测得的波形如图7所示。接着保持信号幅度不变，频率依次调整到2kHz、20kHz及200kHz，得到的波形图分别如图8、图9、图10所示。从图中我们可以看到输出幅度刚好放大了10倍，跟理论很吻合，同时在20Hz~200kHz的输出幅度看不到变化，说明频响非常宽。另外，模块在20Hz～20kHz有很好的方波响应，上升、下降沿都很陡峭，转换速率不低。200kHz输出方波虽然上升、下降沿变缓，但波形还是可以接受的。

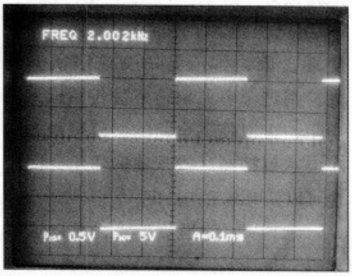


图10

从以上两个测试指标看，这个模块还很不错，当然，要进一步测试失真等指标，就得上专业仪器了。

五 试听

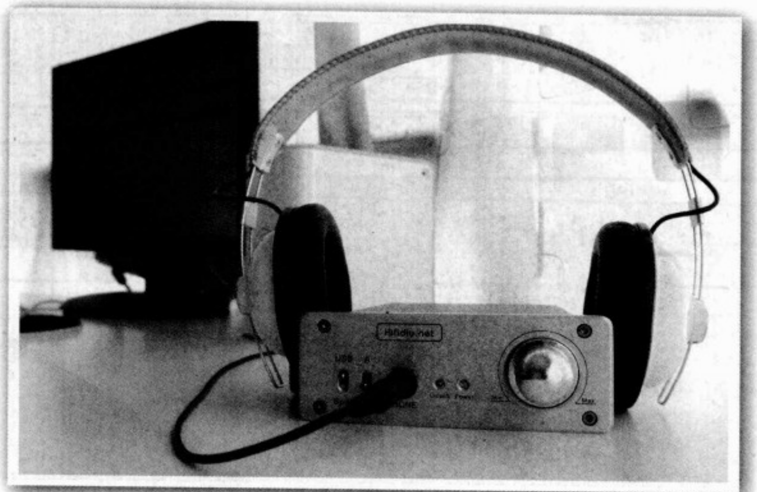
测试完毕之后，就准备上机试听了。当初搞这个小模块时，还有一个想法，就是用来替代解码器中IV和LPF处的运放，这样解码器IV和LPF就变成全分立件的作品啦。试听的解码器就是本人DIY的PCM63DAC。

首先用模块替代原解码器IV中的OPA627AM，发现模块的低频力度、高频幼滑度跟627AM不相上下。627AM中频密度略低，音色表现比较硬朗，而模块表现出的中频密度更大，也更柔和耐听，接着用模块替代LPF中的OPA128SM。OPA128SM最大特点就是韵味好，人声表现一流。本模块相对OPA128SM不失中频韵味，但高频延伸比OPA128SM来得更好，细节也更多。

试听的结果：模块表现超过了预期，本人非常满意。因本人没有运放版本的前级，因此也就没法试听作为前级时模块的音色表现，但我想也不会差。如有对这个模块感兴趣的烧友，也可以自己动手制作一个，充分享受DIY带来的乐趣。

DIY的乐趣——12元钱的摩机小记

◎李俊杰



现在很多工作都要依靠电脑，还有一些人除了吃饭、睡觉，终日以电脑为伴，欣赏音乐也依赖电脑。但是，通常的电脑板载的声卡不能满足音乐爱好者的要求。

为了取代音质普通的板载声卡，我购买了MUD套件（MINI USB DAC），自己DIY一个外置音乐解码器，它使用SPDIF同轴或是USB接口，高品质地对数字信号进行解码，既可输出模拟信号到功放系统，又可直接使用内置的耳放推动耳机欣赏音乐。

焊接整套原配的元件（见图1），我花费了3小时。试听了数周，感觉这款MUD的解析力还是很不错的，只是声音表现比较平均，也就是说味道平淡了一点，犹如网上很多人形容的“很Hi-Fi味”。这点我倒不太介意，一个中性风格的器材可以比较好去搭配。不过，还有个不尽人意的地方，就是高频段的连续性不太好，生硬刺耳。虽然并不是太严重，但却影响了耐听性，听着不舒服，难以陶醉在音乐的世界中。渐渐地，一个整改MUD的念头浮现出来了！

一 为何去“摩”机？

我不主张动不动就摩机，如果对什么器材都要摩一下才觉得更好，那可能是有强迫症了。买一个不喜欢的器材，回来摩到好听，这不是无事找事么？你是在玩器材还是给器材玩？话说回来，现在的网络销售方式让你在购买之前无法试听。如果有好的选择，我更愿意去做一个器材的使用者而不是一个器材的“维修”者。当然摩机和 DIY 的过程也能感受到一种难得的乐趣。

二 制定一个标准

MUD作为一个以商业方式生产的器材，我对它的品质是满意的。任何的器材都不可能做到适合所有人的

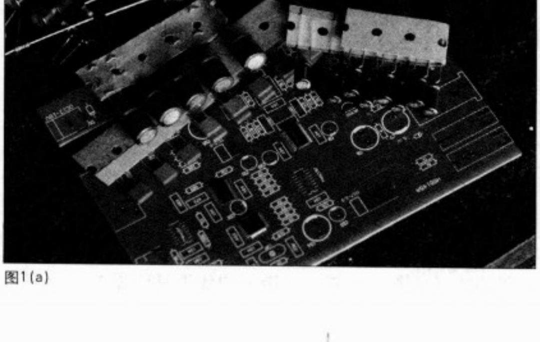


图1(a)

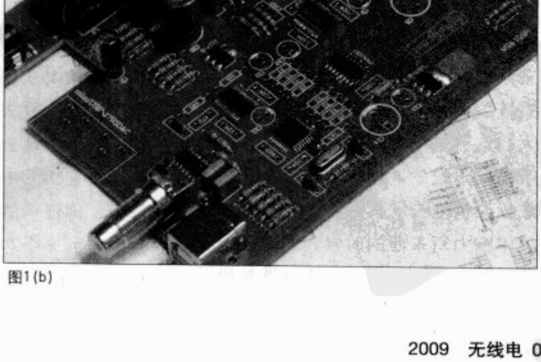


图1(b)

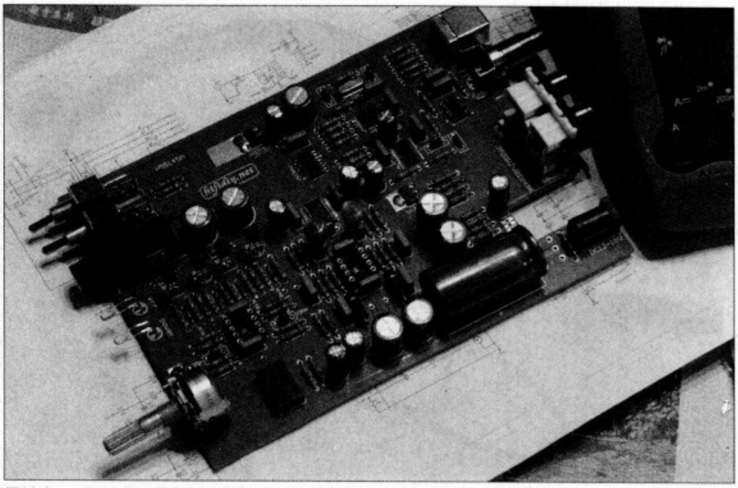


图1(c)

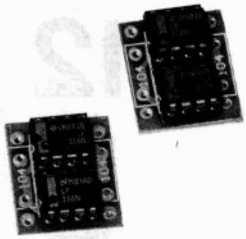


图4(a)

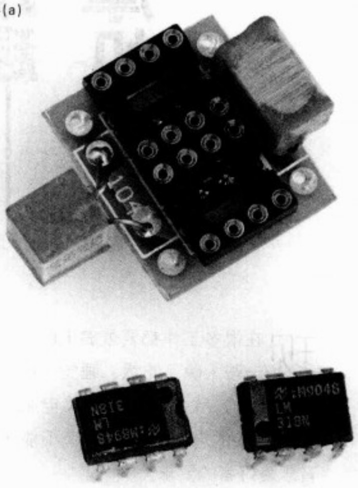


图4(b)

耳朵。MUD在我系统上的不足主要是中、高频过于突出，中、低频虽然有力度，但过于紧，人声表现就是毛刺多、偏干、不耐听。当然，这只是对于我自己的耳朵听觉的反映。幸好，这是个小问题。接下来给自己定一个标准：10%。也就是说，在目前这个状态下，我觉得只需用10%的费用花在MUD的摩机上。再花费更多的资源去摩机，就不如去买一款更贵的产品了。如不给自己制定一个明确的标准，有可能你会花上大量时间沉迷于研究它。人生中的爱好太多了，不能总在搞音响，还有很多其他的事在等着你。记住，最大的成本还是时间！

三 耐听是首要的

什么是耐听？从一个例子可以说明。在用电脑内置声卡作音源时，边听着音乐边工作，慢慢地你会觉得音乐有点吵，走过去把音量关小或是直接关掉电源，其实此时的音量并不大，这就是不耐听的一种表现。不耐听的音乐是令人烦躁的，是无法让人放松心情地去欣赏音乐。还有当你在集中精力写东西的时候，同时播放一些背景音乐，你可能没去听清楚是在

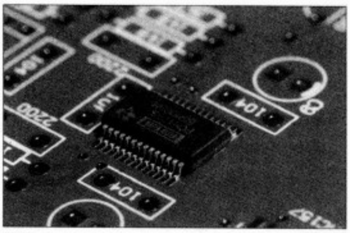


图2

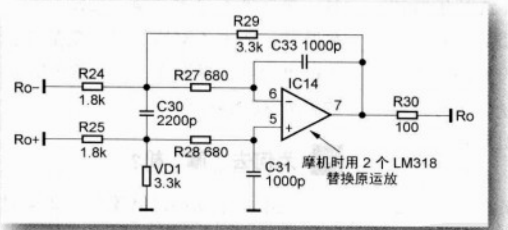


图3

唱什么，只知道音乐听着很舒服，你不想让它停下，这就叫作耐听。

四 如何去“摩”机？

摩机其实就是在现有的器材上做调整，而不是去改装。有些人技术不错，翻天覆地去摩机，这其实算是改装了。在DAC中，芯片起到决定性的作用，你任何的调整都无法把这个芯片变成另一个芯片。老实说，这款器材的芯片PCM1793还是不错的（见图2），关键是如何发挥它的作用，使其出声更适合你自己的口味。

知己知彼，永远实用。通过内置耳放与外部耳放的对比，发现问题来源于DAC输出信号上。查阅PCM1793的资料，LPF与本机的电路基本一致，元件的质量不是太差，元件取值上的变动不会有很大的影响，况且MUD的元件已经相当不错了。LPF采用的是BB公司的OPA2134，这是近期热门的明星运放，之前却从未听过它的声音，所以觉得行动应该从这里开始。

更换运放是一个非常惯用的方法。更换高级阻容元件可称为进补，更换运放，其实算是改变了电路的形式，所带来的效果是明显的。从多年

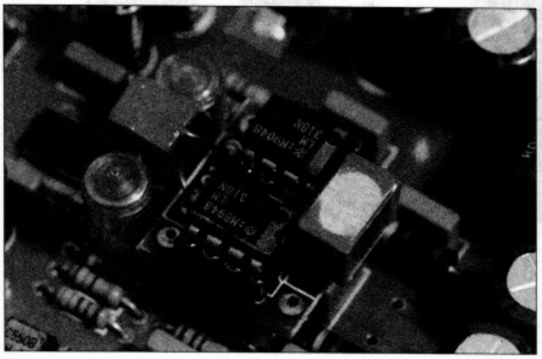


图5

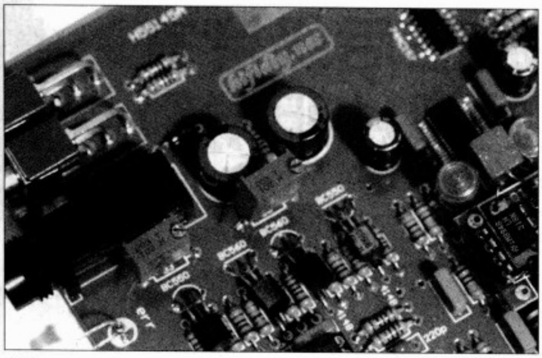


图7

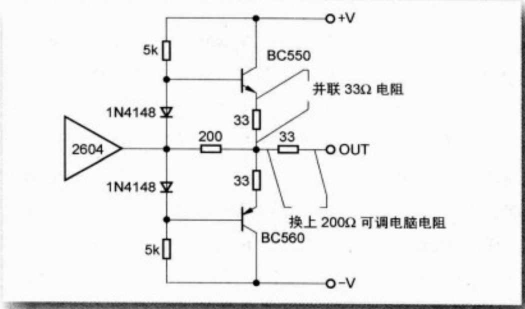


图6

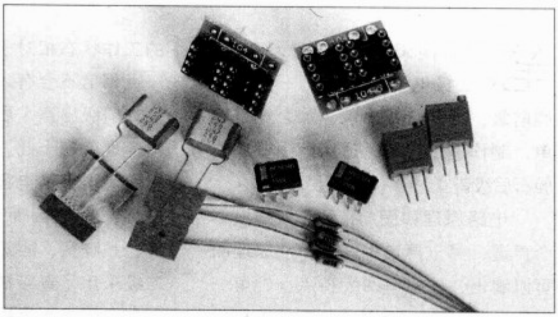


图8

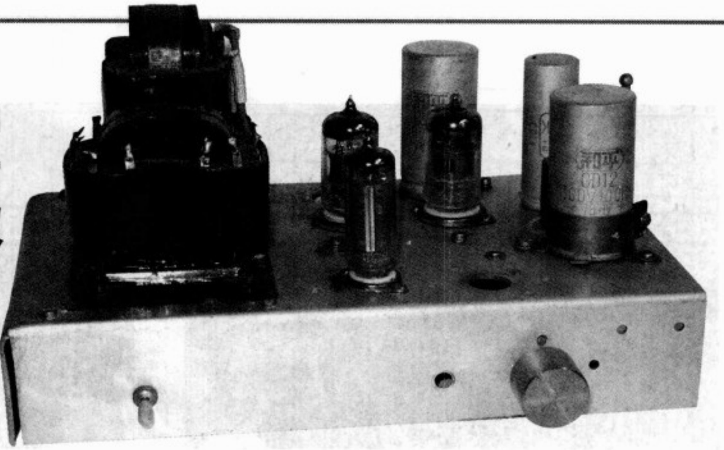
的经验中知道并非价贵的就是好听的。手上所存的运放有：陶封AD827、陶封OPA2604、LT1057、大S陶封5532及LF356N。首先用OPA2604换下OPA2134。OPA2604一向被认为高频稍暗，但透过外部耳放来试听，非常适合我的耳朵。再接上MUD的耳放，出现了意外。耳放部分用的也是OPA2604，在两路OPA2604的共同作用下，低频有点混乱。加上本来我的耳机低频清晰度就稍软，两者结合后，更加突出了这个缺点。是否将耳放的运放也换掉？经过多次尝试后决定耳放部分的运放不做更改。

将手中现有的运放——替换到LPF的电路中（见图3），传说中的极品AD827，高、低频过于突出，人声无味，5532在这里显得更混。LT1057中、低频丰满了，但高音又偏亮了点。本来很有信心的LF356N竟然毛刺量更大，不过中、低频相当舒服。经过上面的多个运放轮番上阵仍未解决的问题，最后想到还有一个运放LM318。

LM318是极为普通的单运放，老得现在已经很难在新的电路上看见它的身影。很多人觉得它不适合应用在音频方面的集成电路。但它的声音我是有印象的，大部分的发烧玩家，一向是直奔闻名的运放，这次它能在MUD上出现奇迹吗？答案就在下面。

把原LPF运放旁的2只去耦小电容拆下，将2只LM318装上转换的小板子上（见图4）。由于引线被延长，在小板子上焊两只新买的0.47μF电容用作去耦（见图5）。通电，测量输出端直流电位，正常后，开启信号，先预热。开声后中、高频比OPA2134要收敛了一点，中、低频非常丰满，富有弹性，原来最不满意的人声变得顺滑更有味道。插上耳机，内置耳放开声，也有同样的感受，只是中、低频量感还稍有不够。此时的DAC中在LPF方面的调整基本上达到了我的要求，可以说是：耐听了！

接下来对耳放电路进行小改动。用4只33Ω的DALE电阻并联到4个管子发射极的33Ω电阻上（见图6），增加一点静态偏流。原静态电流是6mA，受偏置电路本身的限制，此时这个电流并不能提高1倍，提高到了8.5mA。看到这种偏置状态，更换手中现有的管子的计划先暂停。将输出电阻33Ω短接，同时串上一个200Ω的可调电阻进行调整，最后由耳朵收货，决定换上一个22Ω的电阻（见图7）。这时的中、低频最舒服，已经让我陶醉在音乐中了。对MUD的“内摩”就到此为止，为了我的耳朵，我购买了2块LM318、1个单转双小板子、2个电容、6个电阻（见图8），共花费了12元钱。值了！



胆石后级皆宜的缓冲胆前级

◎张全定

笔者用美国5670（国产管为6N3）双三极电子管制作了一台缓冲胆前级，因其音效出色，加之电路简单，制作调试容易，适用范围宽广，胆石后级皆宜。

电路原理如图1所示（只画出一个声道，另一声道相同）。从原理图可以看出，该机有四大特点：①第一级采用了共阴纯A类放大。现在的模拟放大器工作状态大体分为三类：即A类（甲类）、B类（乙类）和AB类（甲乙类），一般所说的放大器工作状态大都是指末级功放管的工作状态，对前级放大管的工作状态很少有人提及。这里需要说明的是，前级放大管的工作状态相对于末级更为重要，这一点相信不会有人提出异议，之所以有“前级出声，后级出力”之说，我想道理就在于此。同时，这一级的阴极取消了旁路电容，即本级的电流负反馈形成，因而该级增益高、动态大、频响宽、胆味浓。②第一级到第二级采用了直接耦合方式。这是因为如果级间用电容耦合时，容抗的存在会导致音频信号的相移，从而产生相位失真。音乐信号是由多谐波组合而成，如果不同的谐波产生各自不同的位移，这些谐波重新组合起来就会与原来的波形大不相同，从而产生失真。取消耦合电容后，级间电容引起的相位失真荡然无存，同时也展宽了频带。因此，放大器的音质变得更清澄透明、细腻圆滑、层次分明、非常耐听，省去了一只价格较高的耦合电容，也节省了开支，同时也使电路进一步得到简化。③第二级放大设计为阴极跟随器电路（也叫缓冲电路）。阴极输出电路起源于20世纪40年代，是由经典流行的共阴极放大电路演变而来。它是将原屏极回路中的负载直接移至阴极回路，构成了100%的负反馈，所以，虽然该电路的电压增益为1或小于1，但其阻抗、频响等特性指标却得到大幅度改善。它具有输入阻抗高、输出阻抗低、频响宽、失真小、带负载能力强、瞬态响应好等多项优点，完全能够满足当今众多数码音源的高保真回放要求。④取消了大环路负反馈电路，这是因为输入级已加了电流负反馈，第二级为100%的负反馈，这就为取消大环路负反馈奠定了基础。实践证明，取消大环路负反馈后，其声音具有相当好的瞬态互调特性，音色不但具有高级胆机特有的韵味，而且在力度上根除了胆机固有的“软皮糖”的弊端，声音听起来特别鲜活、有弹性、有跃感。

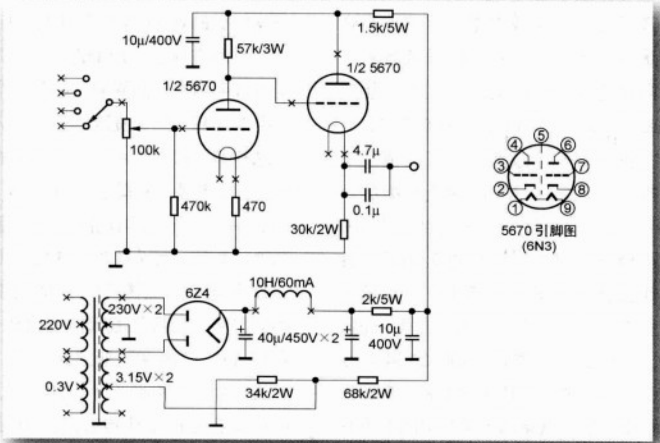


图1

5670 胆管的外形如图 2 所示，比较容易找到，二手管很便宜，每只约 10 元，新旧程度大都在 70%以上，且

新型大功率车用音频功放集成电路 TDA7375AV和TDA8595

◎吴红奎

音频功放集成电路因为外围电路简单，性能可靠，保护功能完善，在车用放大器中占有很大比例，与消费、娱乐类的应用相比，车用音频放大器有很多特殊的地方。

第一是抗电源干扰的能力要强，包括电火花干扰、瞬间电源尖峰干扰等。第二是可靠性高、坚固耐用，为此车用音频集成功放一般是采用固定增益方式以尽量减少外围元件的数量，尤其是电解电容的使用数量。保护功能以输出短路、电源短路保护为主，一般还需要有警示电路以提醒使用者。第三是抗高温的能力，因为车内有时的温度要比环境温度高很多。第四是要适应车载电源标准。第五是要有大电流输出能力，以驱动车用低阻抗扬声器。第六是节能，汽车的供电系统采用的是电池组，提高效率就显得非常必要。最后就是对静态噪声指标、本底噪声指标的要求可以适当降低，因为汽车里的听音环境没有一般家居环境那样安静。基于上述原因，一般车用型号的集成电路的价格会比较高。

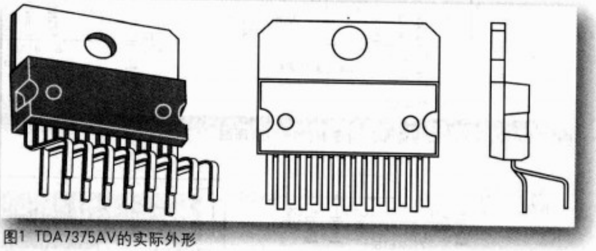


图1 TDA7375AV的实际外形

ST（STMicroelectronics，意法半导体）和Philips（飞利浦）公司生产的音频功放IC有很多相似之处，如外围电路简单、THD（总谐波失真）指标高、听感亮丽、音色偏冷硬等，而车用功放集成电路则是两家的强项，如我们熟悉的TDA2009等，本文介绍两家公司新推出的车用功放集成电路TDA7375AV和TDA8595，供大家设计选型参考。

一 TDA7375AV

TDA7375AV是ST公司最近两年推出的AB类车用音频功放集成电路，它采用“ICV PNP”双极晶体管技术，不需要自举电容和输出相位补偿电路，外围电路相当简单，只需要改变信号输入方式就可以自动适应OTL和BTL工

质量上乘。选购时一定要配对，以保证音场和定位的准确。万一搞不到 5670，可用国产 6N3 直接代换。实践证明，用国产管也有上佳表现。当然爱好者也可根据自己的听音习惯及口味选用其他胆管，如：6N1、6N2、12AX7(6N4)、12AT7、12AU7(6N10)、6DJ8(6N11)、6SN7(8N8P)、6SL7(6N9P) 等管。以上各管特色不同、风格各异，换用不同的胆管就有不同的音色去向，玩起来很有意思，只是引脚的连线要作相应改变。电阻可用国产绿色碳膜电阻。该电阻音色温暖、厚润，很耐听。大红炮金属膜电阻是爱好者公认的发烧级电阻，可放心选用。末级耦合电容至关重要，需下一点工夫，笔者在这里选用了德国 WIMA（威马）薄膜电容，该电容前几年在国内也曾红极一时，由于其声音表现全面，音域宽阔，加之价格极低，所以性价比较高。如不在乎成本，也可用法国大 SOLEN SCR（索伦）、美国 SPRAGUE（思碧）等电容。其实国产电容也有不错的表现，如新德克、凯立等 MKP 电容在发烧友中都有较好的口碑。电阻、电容选用时一定要严格配对，其误差应以不大于 3%为宜。

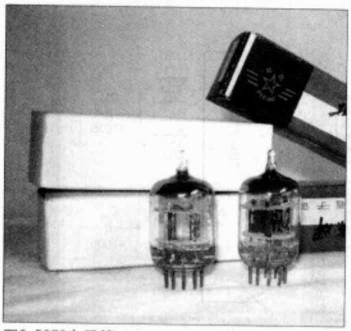


图2 5670电子管

该机不但推胆功放不在话下，就是和石机连接也有绝佳的适配性，对那些只有晶体管功放，又想领略胆机风采的发烧友，装台此机，实为不二的选择。

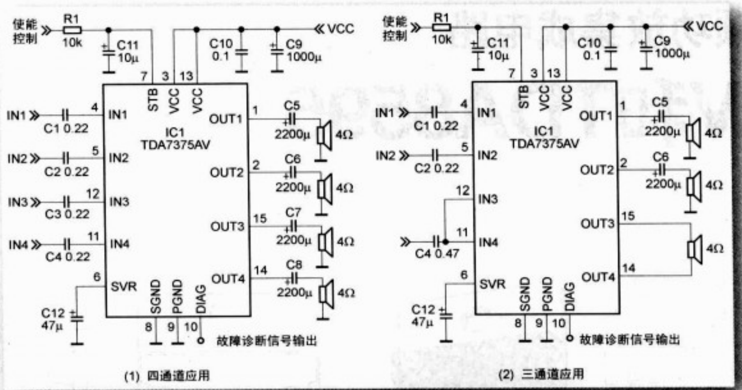


图2 TDA7375AV的四通道和三通道典型应用原理图

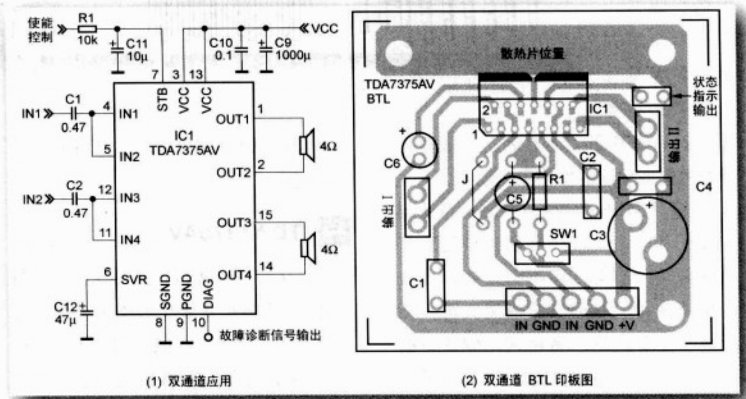


图3 TDA7375AV的各种典型应用原理图

作模式，无需附加电路及转换电路。

TDA7375AV中采用了新型基板绝缘技术（top-bottom isolation techniques），以降低PN结对基板的泄漏电流，这项技术在ST公司的多款产品中都有应用。TDA7375AV中集成的NPN/PNP互补功率输出级，其饱和导通电阻在0.3Ω左右。由此带来的好处是末级晶体管的饱和压降可以忽略，负载得到的最高电压几乎与电源电压一样，而不会因末级晶体管饱和压降造成明显的电压跌落，所以无需自举电路。采用“ICV PNP ”技术的另一好处是末级的增益几乎只与负反馈电阻有关，高频相移可以通过控制负反馈量来解决，所以一般不需要通常为了抑制放大器高频振荡倾向的输出补偿电路，即我们通常所说的“茹贝尔电路”。

TDA7375AV典型应用采用14.4V单电源供电，任何工作模式都可以驱动2~4Ω负载，其实际外形如图1所示，主要技术特性如下：

额定工作电压：8~18V，典型值14.4V，可耐受28V的直流电压和40V的尖峰电压50ms。

连续输出功率（14.4V电源，THD≤10%，4Ω负载），4通道OTL模式：7W/通道；2Ω负载上可以实现4×12W的输出功率，双通道BTL模式：25W/通道。

THD（典型值）：0.02%（OTL4通道，P_O=0.1~4W）/0.03%（BTL双通道，P_O=0.1~10W）。

串音抑制能力：70dB（典型值，OTL四通道）/55dB（最小值，BTL双通道）。

电源抑制比（PSRR）不小于50dB。

固定增益方式，按典型值计：OTL方式为20dB，BTL方式为26dB，通道增益误差小于0.5dB。

无开关机冲击声，无需自举电容。

故障诊断端子（输出削波、过热、输出故障）。

完善的保护功能：输出端对电源短路保护、过热保护、电源反接保护等。

TDA7375AV的4通道和3通道典型应用原理图如图2所示，双通道典型应用原理图和配套印板图如图3所示。

在图2、图3中，如果不需要故障信号输出指示，第10脚可悬空不用。使能控制功能如果不用，可以通过R1直接与电源连接。在图3所示的印板图中使用RP1来实现手动使能控制，实际上也可以用系统主机的CMOS电平信

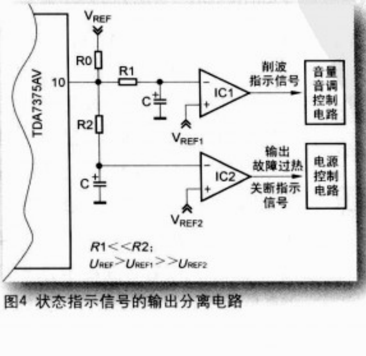


图4 状态指示信号的输出分离电路

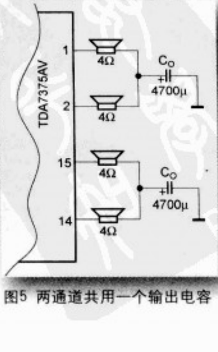


图5 两通道共用一个输出电容

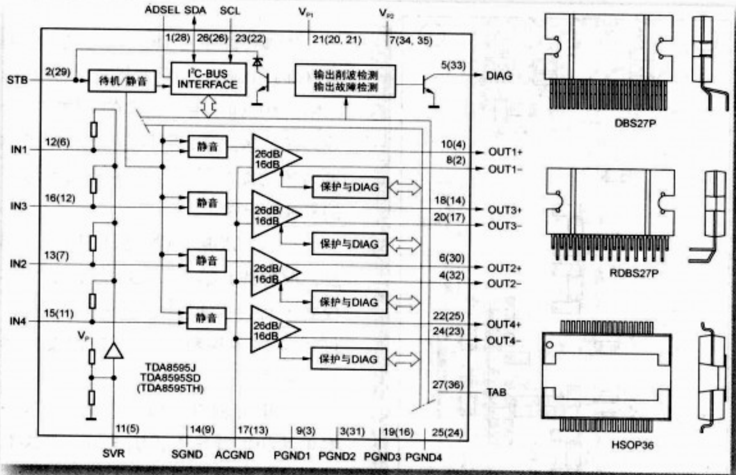


图6 TDA8595的内部等效电路及外形封装

号来统一控制。1.5V以下为待机，3.5V以上为正常工作。需要注意的是，如果使用OTL方式时，输出电容应该根据负载阻抗进行调整，比如要驱动2Ω负载，输出电容（C5~C8）的容量应减小到1000μF。

TDA7375AV的DIAG（10脚）端子通过输出脉宽不同的方波信号来指示集成电路工作状态的多种信息，这些信息包括输出削波、过热关断、输出故障（对地、对电源等短路），要正确地利用这些信号还需要一定的外围电路配合，其原理简图如图4所示。

TDA7375AV内部集成了完善的保护电路，在应用4通道方式时两个通道可以共用一个输出电容，以减少元件数量并节省占板面积，如图5所示。即使输出电容因为意外原因出现短路故障，依赖完善的保护电路，扬声器或者集成电路本身也不会因为电流过大而烧毁。

TDA7375AV如按照图2所示的3通道工作方式工作，也非常适合于目前电脑多媒体中流行的2.1系统的应用，直接采用电脑电源中的+12V供电，BTL通道用于重低音放大，OTL通道用于主声道放大，虽然集成电路的成本高了些，但可以节省额外的电源供给电路，因而增加的成本将很有限。

二 TDA8595

TDA8595是Philips公司2006年推出的大功率多通道AB类车用音频功放集成电路，它采用BCDMOS工艺技术制造，单电源供电，4通道BTL放大器，通过集成的I²C总线可以实现多种系统状态信息的显示和可选增益控制功能，也可以采用非I²C方式，除了一些控制功能不能实现外，丝毫不影响其音频功率放大功能。

BCDMOS工艺简称为BCD工艺，这是一种将双极、CMOS和DMOS（双扩散MOS)晶体管集成在同一硅衬底的混合集成工艺，这样即使在同一芯片上，原本特性和优势各不相同的半导体单元也有了同时发挥其长处的机会。CMOS允许高逻辑密度，适合集成微控制器等逻辑控制单元；双极型半导体单元和CMOS的组合可以实现高精度电路，如参考电压电路等。DMOS晶体管单元则具备高电流、高电压(约20A、80V的水平)、低导通电阻的特征，适合做功率输出单元。

TDA8595有3种封装形式可供选择以适应不同的具体应用环境：DBS27P、RDBS27P、HSOP36，对应型号分别是：TDA8595J、TDA8595SD、TDA8595TH。TDA8595J和TDA8595SD的引脚兼容，TDA8595TH的引脚数量及其排布与其他两种有所不同。TDA8595的内部等效电路框图、引脚定义和封装外形如图6所示，括号里的引脚号是TDA8595SD的。

TDA8595内含四路独立的BTL放大器，主要针对车载音频应用，也可以应用于高端的电脑多媒体，它的主要技术特征如下（引脚编号以TDA8595J为例）：

工作电压为8~18V（$R_L = 4\Omega$）或者8~16V（$R_L = 2\Omega$），典型值为14.4V。

输出功率（THD = 0.5 %，典型值）：4×20W（$R_L = 4\Omega$）；4×32W（$R_L = 2\Omega$）。

THD（$R_L = 4\Omega$，$P_O = 1 \sim 12W$，

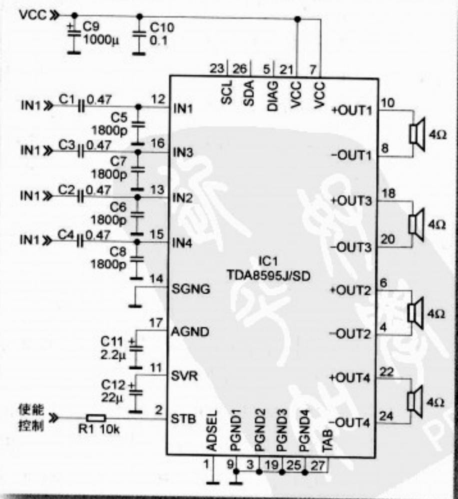


图7 TDA8595非I²C模式的典型应用原理图

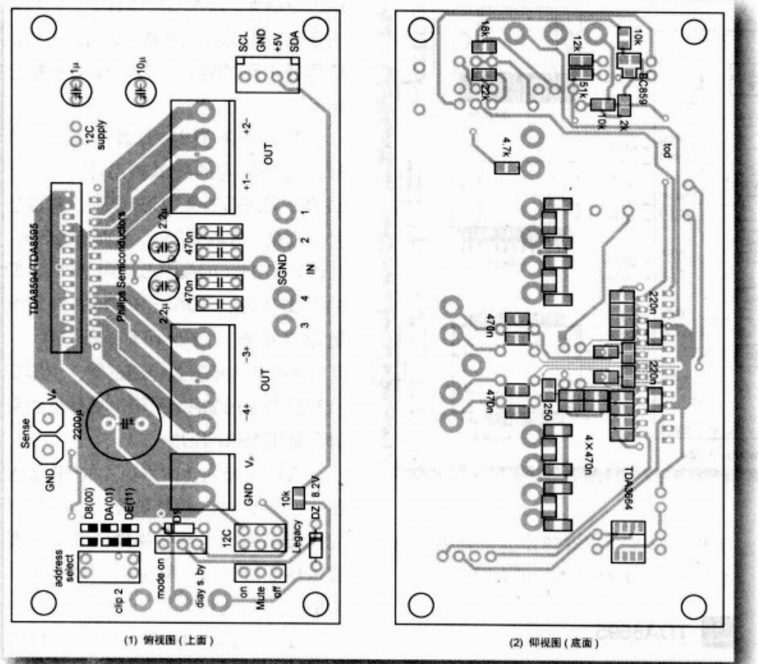


图8 TDA8595的印板图

典型值）：0.01%（f=1 kHz）、0.09%（f=10 kHz）、0.14%（f=20 kHz）。

PSRR（典型值）：70dB，CMRR（典型值）：65dB。

增益：26dB或者可选，频响带宽（-1dB）：20Hz~20kHz。

多种安全保护功能，通过I^{2}C控制方式可实现更多功能。

图7所示的是TDA8595的非I^{2}C模式的典型应用原理图，引脚排列同样以TDA8595J/SD为例。

TDA8595采用的是被称为“伪平衡输入”的信号输入方式，SVR引脚（11脚）外接的中点电位滤波电容（C11）的容量至少应该为输入电容（C1等）的4倍以上，这样才能保证电路有良好的电源抑制比和破音抑制能力。

TDA8595内部集成的保护功能相当完善，主要有：扬声器故障检测、每通道独立的短路保护，所有端子对地、电源误接保护，过压、超压保护（可达50V，50ms）和主要针对车用环境的地开路和电源浪涌保护，所有输出端对地、电源、端对端误接保护，电池欠压检测等。这些功能有些是I^{2}C模式和非I^{2}C模式下都具备的，有些则是I^{2}C模式下独有的。两种工作模式通过几个有特殊功能的端子进行设置并实现相应的特殊功能，下面简述之。

1．“ADSEL”端子（1脚）：工作模式控制，接地为非I^{2}C模式，悬空为I^{2}C模式。

2.STB端子（2脚）：非I^{2}C模式下，STB为静音控制端子，可以实现待机、静音、开机三状态控制或者待机、（瞬时静音）开机两状态控制，视加到STB端子的电平而定。I^{2}C模式下，STB与DIAC端子相互配合，实现放大器的软开机、软静音以及对1、3和2、4通道分别进行静音控制，不过STB的电平控制过程相同，小于等于1V为待机，2.5～4.5V为静音，大于8.4V为开机状态。

3.DIAG端子（5脚）：这是故障信号（diagnostic）和削波指示信号（clip detection）输出端子，仅在I^{2}C模式下有效。在I^{2}C模式下，STB端子也可以被配置为多功能端子，作为削波指示信号的单独输出端子。

4.SCL(23脚，数据线)、SDA（26脚，时钟线）端子：I^{2}C总线，仅在I^{2}C模式下有效。通过I^{2}C总线控制方式，可以实现多种额外的控制和设定功能，主要如下：

上电检测电源和负载连接状况，看电源和负载是否正确连接，如果有负载接入即启动该通道的无开机冲击声的启动过程。

1、3（前置）通道和2、4（后置）通道可以分别单独设置静音控制功能。

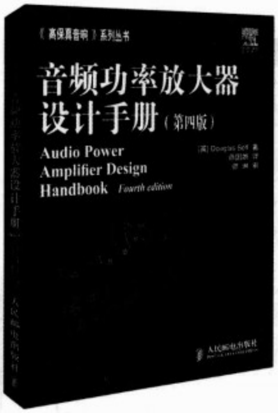
STB端子（2脚，静音控制）可以设置为多功能端子，配合DIAG端子可以显示更多的放大器特征工作参数，如：输出端偏移电压、负载接入状况、短路、扬声器是否正确接入等。

削波失真控制可以分2%、5%、10%三挡进行调整，过热预警同样也可以选择过热温度值。

1、3通道和2、4通道的增益分别独立可选，16dB或者26dB。

图8所示的是Philips推荐的配套印制板图，这是直插和贴片元件混排，双面板设计，I^{2}C模式和非I^{2}C模式都是适用的。由于TDA8595的外围电路相当简单，业余条件下完全可以使用单面板。

本文介绍的两款新型大功率车用功放集成电路TDA7375AV、TDA8595具有输出功率大、低压单电源供电、多通道、外围电路简单，容易控制、保护功能完善的特点，同时又各有自己的特点，这为我们的新品设计提供了更多的选择空间和弹性。



编者按：《音频功放设计手册》是我们从世界著名出版集团爱思唯尔引进的功放设计师的权威实用手册，作者道格拉斯·索夫（Douglas Self）是功率放大器设计方面的权威学者，在此书中，他汇集自己多年的功放设计实例，深入浅出地讲解功放的设计和制作的细节。索夫的功放设计理念是，基于电路原理、实验数据及综合经验进行设计。他希望借此能使功放设计领域显得不是那么神秘。

A类功放

[美]Douglas Self
◎薛国雄　译

一　A类功放的设计实例

图1所示的是一台A类20W无缺陷放大器的电路图。为了便于进行比较，已尽可能采用原来的B类设计参数，尤其是负反馈量在20kHz时仍为30dB。电路的前端部分直接采取原来的B类放大器电路，这并不奇怪，因为电路作用跟原来完全一样，输入级失真即第1种失真不受输出级电路的影响。跟以前一样，输入差分对的尾巴电流较大，因此R2和R3可以对电路传输特性起良好的线性化作用，并设定了这一级的跨导。电压放大级失真的处理仍采用以前的方法，设置

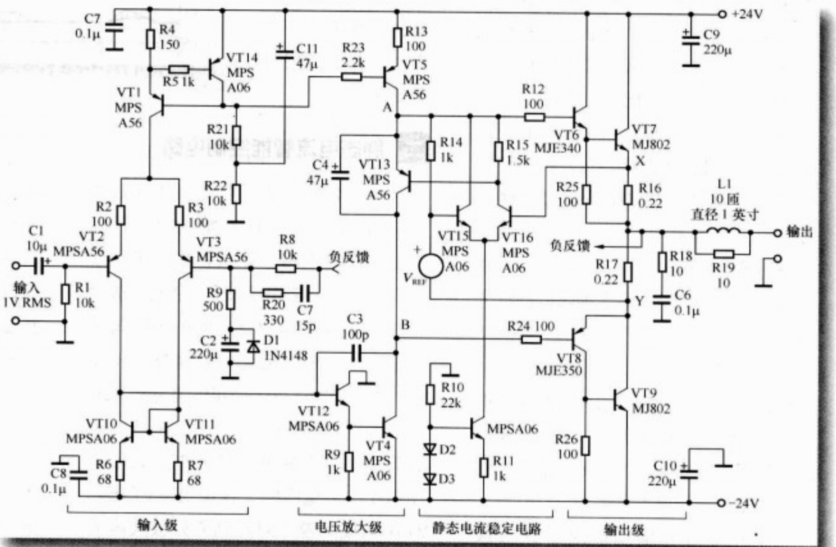


图1

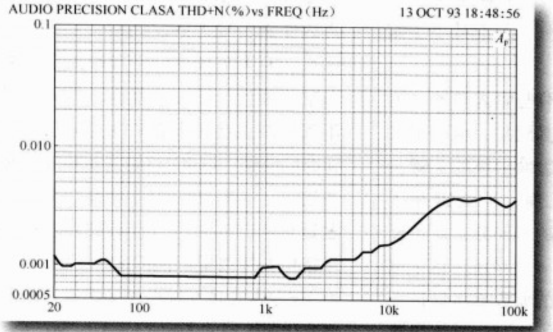


图2

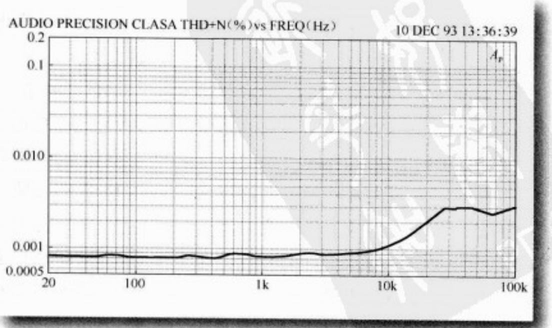


图3

附表 A类放大器与B类放大器的失真比较

放大器	1kHz失真	10kHz失真	20kHz失真	输出功率
射极跟随器输出级 B类放大器	<0.0006%	0.0060%	0.012%	50W
倒置达林顿输出级 B类放大器	<0.0006%	0.0022%	0.0040%	50W
射极跟随器输出级 B类放大器(双极点补偿)	<0.0006%	0.0015%	0.0026%	50W
准互补输出级 A类放大器	<0.0006%	0.0017%	0.0030%	20W
倒置达林顿输出级 A类放大器	<0.0006%	0.0010%	0.0018%	20W
倒置达林顿输出级 A类放大器(双极点补偿)	<0.0006%	0.0010%	0.0012%	20W

起增大β值作用的VT12令本级通过C_{dom}形成的负反馈增强。由于A类输出级的输入阻抗稳定，没有B类输出级那种陡峭变动，因此无需为由输出级引起的电压放大级负载失真担心。

图1所示的电路使用了标准的准互补输出级，可改换为倒置达林顿输出级，不会出现问题。无论使用准互补输出级还是倒置达林顿输出级，放大器的失真都极低，但使用倒置达林顿输出级时失真性能更佳，这进一步确证了之前仿真的结果。

静态电流稳定器电路的VT13、VT14和VT15的作用在前面已作描述。电压参考源使用了美国国家半导体公司的集成电路LM385/1.2(即1.2V规格的LM385)。它是使用带隙技术的稳压集成块，利用它固定输出的1.223V（标称值），经2只1kΩ电阻所构成的衰减器(图中未画出)衰减为约0.6V，作为控制电路的参考电压。以带隙集成块作参考源时，放大器电源开启一二秒后就可将1.6A的静态电流控制稳定下来，变动范围在±2mA以内，这种新的静态电流控制电路毫无疑问是有效的。

这个放大器的电源也像以前一样，使用储能电容为10000μF的非稳压电源。尽管纹波比原来大，只要采取通常的退耦措施，就不会在放大器的电源纹波抑制能力方面遇到困难。

使用准互补输出级时，这台放大器（高频补偿为普通方式）的闭环失真性能如图2所示。图3所示的则是使用倒置达林顿输出级时所测。失真残余信号的音频频谱几乎是纯粹的噪声，只是在10kHz以上时有少量的3次谐波出现。估计这些失真是源自输入差分对，但目前还没有确认。

B类放大器和A类放大器设计实例测得的失真见附表。多项数据都表明，A类放大器与B类放大器相比，失真率有令人满意的下降。当最为线性的倒置达林顿输出级A类放大器采用双极点补偿时，以付出转换速率上的一定代价换来了超低的失真，20kHz的失真率减小到只有0.0012%，如图4所示。这可能算不上是神话般的“无失真”放大器，但也算是接近。

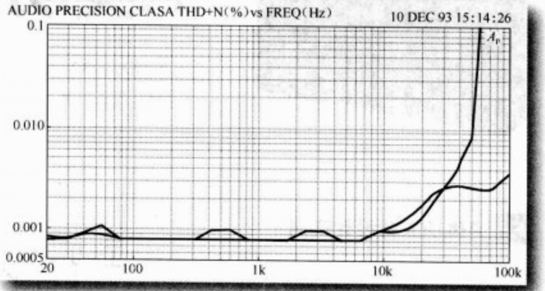


图4

二 静态电流智能控制电路

为了解决全部元件温升影响静态电流的问题，我向读者推介如图1所示的智能控制电路。如果设置固定的参考电压，看上去需要使用2个差分放大器，才能将X点与Y点之间的电压与参考电压作比较。但是，若将参考电压源V_{ref}的一端接Y点，使用的差分放大器就可以减少到1个；而且Y点是低内阻的节点，很容易吸入参考电压源所需1mA或这个量级的工作电流。VT15和VT16构成的差分对起到差分放大器的作用，将Y点电压与参考电压作比较；静态电流过大时，VT16导通程度加深，令VT13导通增强，从而减小了偏置电压。

此电路看上去有些令人费解，因为VT13的集电极呈高阻抗，似乎阻碍了音频重放信号到达输出级的上臂。这种看法大体上正确，但关键在于VT13是负反馈环路的一部分，而负反馈环路在A点产生了一个电压，这个电压令A点与B点之间的偏置电压保持不变，也就是等同于通过VT5为输出级建立了固定的偏置电压。可以想象，这个环路并不擅长于快速传送信号，快速传送信号的任务是由前向加速电容C4来负责。没有电容C4，这个环路也可以正常工作，但在信号的周期中某些部分几乎肯定要产生高频振荡。有了电容C4，这个电流环路不需要快速工作，因为它不传送重放信号，只要维持好电路的直流电平即可。

研究I_q的实验做起来并不容易，因为不能直接测量晶体管的结温。利用专业的SPICE仿真软件比如PSpice软件，可以单独针对全部元件温度和各个器件的温度进行仿真，这是使用仿真软件进行放大器设计的又一个突出优点。有关放大器元件准确的温度关系难以预计，因此，我在这里只给出不同控制电路在所有元件温度全部变化时的结果，以及VT7结温单独变化时的结果。在图1中，VT7将是功率放大器最热的元件之一，没有被包含在负反馈控制环路里，而VT9与VT7不同，VT9被包含在负反馈控制环路里，其温度变化所造成的影响大幅减小。

用国产扬声器单元制作一对密闭音箱

◎何立基

一 出声容易 靓声难

在音响器材DIY中，音箱的制作是相对容易获得“成功”的。一般认为的“成功”是指扬声器单元装进木音箱后能发出声音。但是DIY发烧友们对音箱制作是否“成功”的标准是看音箱能否出“靓声”。确实，在音响器材的DIY中，音箱成功制作的难度应该是最大的，所谓“出声容易，靓声难！”。音箱的制作牵涉多方面的知识，如声学、振动物理学、电子学等。国外一些专业的厂家甚至已经把激光测量和热红外测量等先进的技术应用到音箱的设计和制作当中。在缺乏专业测试设备和环境的业余条件下，如何制作好一对音箱，是一个值得探讨的问题。

二 初识音箱

笔者是“半路出家”的DIY爱好者。记得第一次接触到音箱是20世纪90年代初，当时我的物理老师说家里正在制作一对3分频的大音箱，用来配合家里新买的功放来演唱卡拉OK，他让我去帮忙打打下手。为此，物理老师还买了日本作家长冈铁男所著的《音箱制作精选》一书作参考。让我感到新奇的是，在这个足有1米高的大音箱里，除了面板上安装了3个扬声器单元外，里面就几个用作分频的电容和电感线圈。当时最让我觉得可笑的是老师居然还把家里新买的枕头给拆了，取出一些棉花铺开在音箱里面，让师母心疼了好几天。后来我才知道，音箱里铺垫的棉花原来有吸音的作用。

三 寻觅理想中的低音单元

前段时间我制作了一款使用电子管和集成电路的混合型功放，为了最大限度地发挥该功放声音细腻圆润的特点，我决定精心为它打造一对音箱。多年前已经听说过英国Rogers的LS3/5A是一对声音甜美的小音箱，播放人声自然、流畅，这是密闭箱中的经典之作。对于这款设计于20世纪70年代的监听级音箱，已有无数发烧友在仿制。可惜的是该音箱上所使用的扬声器单元已经停产，而市面上现有的少量库存的扬声器，其价格多在千元以上。于是笔者拟用国产5.5英寸的

图1

低音扬声器加上一只球顶高音，参照LS3/5A的结构形式和音箱大小制作一款两分频的密闭箱。国产的5.5英寸低音扬声器数量众多，在DIY制作圈中名气较大的有银笛的YD142-1506系列铝支架羊毛盆低音扬声器。该扬声器做工精致，用料上乘，被国内某名牌多媒体音箱厂家所长期选用，其外观如图1所示。南鲸的YD150-8X系列纸盆扬声器在10多年前曾被誉为国产小口径低音单元中的极品，硕大的磁钢给人信心百倍的感觉，其外观如图2所示。笔者前段时间购入一对飞乐的YD150-22纸盆扬声器，防磁设计，标称参数为15W、6Ω，价格适中，实际的制作例子并不多，名气也没有前两款扬声器大，其外观如图3所示。经查阅厂家所提供的T/S参数和用Speaker Workshop对这3款单元作实际测量，经反复比较，最后笔者选定了飞乐的

图2

图3

图5

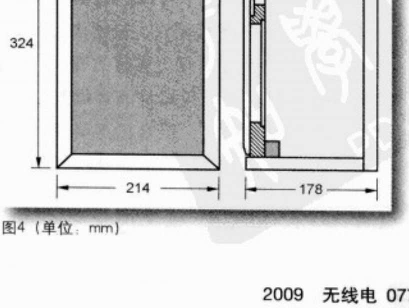


图4（单位：mm）

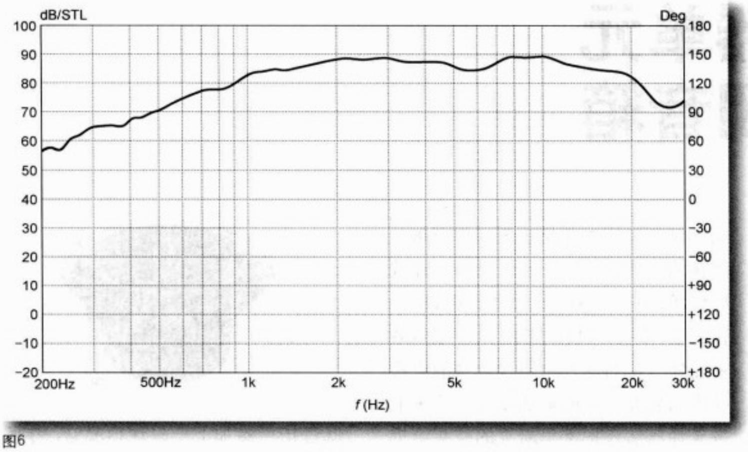


图6

图7

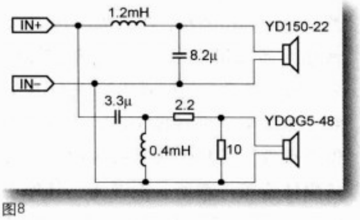


图8

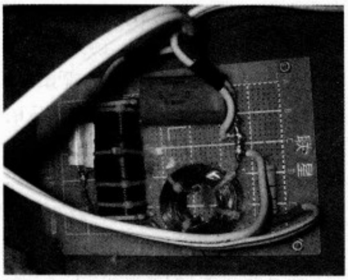


图9

YD150-22扬声器。

四 打造箱体

密闭音箱的内容积设计为6L左右，为了减少高声压下箱体的谐振，特用18mm厚的MDF板制作，其结构尺寸如图4所示。为了方便分频器的调试和元件的更换，面板用螺栓和螺母配合的可拆卸安装形式。低音扬声器通过与面板内侧的沉孔配合，用螺栓和螺母固定在面板上。高音单元笔者选用的是银笛的YDQG5-48球顶高音，面板外径为100mm，实物如图5所示。图6所示的是厂家提供的频响曲线图。图7所示的是高、低音单元装在木面板上的图片。

五 分频器要有自己的“特色”

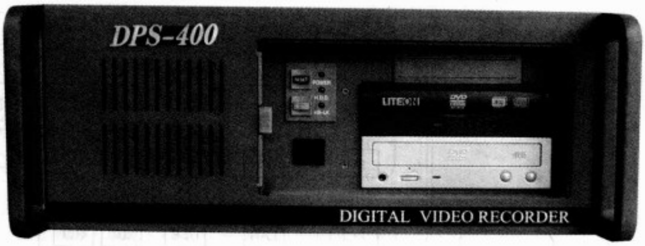
制作分频器是音箱DIY中相当重要的部分，其元件参数的决定应该来源于扬声器单元装上音箱后实际测量的频响，相位等曲线的综合信息。在制作完箱体后，先不安装分频器，使用电声测试软件（如JustMLS等）分别对高音和低音单元进行测量，以获得相应的频响曲线和相位曲线。然后根据这些曲线的特性来决定分频器的阶数，低通和高通网络元器件的数值，高音单元灵敏度的衰减量等。笔者不提倡到市面上买现成的分频器，因为箱体制作尺寸的差异，扬声器单元特性的不同，必然需要一对有自己“特色”的分频器。这对音箱分频器的原理图如图8所示。高通和低通网络均为二阶，电感采用高级无氧铜线绕制，高通网络的电容选用MKP电容。由于高音单元的灵敏度较高，因此使用2个功率为5W的水泥电阻组成恒阻线路进行4个dB的衰减。分频器的实物如图9所示，用4只直径为3mm螺栓固定在音箱内的背板上。箱体内侧铺垫了1cm厚的吸引棉，箱体外贴柚木皮，用细砂纸打磨后喷清漆。组装完成后的音箱如图10所示。

图10

六 试听感受

大功告成，在兴奋之余，笔者并没有迫不及待地拿音箱去试听，而是先用万用表的欧姆挡测量一下音箱后面接线柱子之间的电阻，以防分频器接线错误带来的短路。将音箱搬上笔者自制的木脚架上试听，播放年轻歌手陈洁丽的CD《天与地》，感觉音箱的声底比较厚实，低频的下潜虽然不深，却十分的干净而又富有质感。演唱者的声音甜美，齿音清晰而不过量。相信把这对音箱再“褒”一段时间后，会有更加好的表现。

◎姚宗栋



乌鸦变凤凰系列制作

——用旧电脑配件打造优质影音录播一体机

每当看到精彩的电视节目，总是希望能把她们录制下来，好在以后的日子里再重温那份精彩与感动！为此曾经淘得一台九成新的银行系统监控专用的松下AG-6124模拟磁带录像机，录制的画面和声音的效果都很好,可是昂贵的磁带购买费用、繁琐的节目检索编辑、只要开机就每时每刻地在磨损着珍贵的难以更换的磁头，使热情慢慢降温。后来又淘得一台厦新DVR3000硬盘录像机，充分领略了数字化优越的性能与便捷的操作，可是过了没多久，这台录像机就在“可爱”的老婆大人为我录制节目时“意外身亡”！经过一段时间的寂寞，还是按捺不住内心的那份渴望，到网上查阅资料，对比各种方案，最后下定决心自己动手用旧电脑配件自己打造一台具备收视、录制、编辑、播放、刻录等功能的多媒体影音录播编辑刻录一体机！

在自己的精心设计下，一个制作成本低、功能齐全、可操作性强、可持续升级、维护简单的制作方案形成了。拿定主意，说干就干！在“软磨硬泡”下,从老婆大人那里争取到500元的“财政拨款”，兴冲冲地赶到电脑配件市场，本着保证质量、勤俭节约、物尽其用的原则购买了需要的电视卡、主板、内存、CPU、机箱等电脑配件，回到家再利用手中闲置的显卡、硬盘等配件按照既定的方案将整机成功组装完毕，经过测试可以顺利地完成以下功能：(1) 可录制来自有线电视的RF信号、影碟机卫星接收机等输出的复合视频AV信号。(2) 可录制来自摄像头和话筒的影音信号；(3) 可以复制来自U盘、移动硬盘、VCD、DVD光盘等各种存储设备里的数据资料。(4) 可下载网络上的各种影音数据。(5) 配合安装的影音编辑软件，可以对存储的各种影音数据进行需要的编辑加工处理。(6) 将编辑好的影音文件利用本机刻录成DVD或VCD光盘保存下来。(7) 输出的视频信号可以连接数字液晶显示器的数字接口，也可以连接普通电脑显示器的VGA接口，或直接连接彩电的S-VIDEO或AV接口。(8) 可作为一台普通的中等配置电脑使用。总而言之，各种常用的接收、录制、播放、编辑制作等功能它都具备。虽然本机制作材料基本上都是旧电脑配件，但是因为购买时严格把关，确保了配件质量的优良，所以本机不仅功能齐全、性能优良，而且制作成本低、工作稳定，可靠。经过一段时间的使用让人非常满意，下面对制作的方法以及注意事项作一简要介绍，供各位参考。

一 电路原理

整机的信号流程如图1所示：主要由电视卡完成对各种输入信号的采集工作，其输入接口有普通有线电视RF信号输入、复合视频AV输入，S-VIDEO输入等。从有线电视电缆输入的射频信号进入电视采集卡的高频头后,由内部的电路对射频信号进行降频、解调等处理后得到视频和音频信号，视频信号送到电视卡的视频信号模数转换电路，将模拟视频信号数字化，再经过一定的压缩后输出到电脑主板的PCI总线，经过配套的电视卡应用程序的处理后，由显卡的各种输出端口输出到显示器。需要录制时，电视卡应用程序启动相应的录制程序对由PCI总线采集到的数据信号进行压缩编码，然后按照设定的录制格式，保存到硬盘的用户设定的文件夹当中。由AV视频接口输入的视频信号的播放、录制原理同上，只是少了高频头内部射频信号的降频解调过程。有线电视输入信号解调后得到的音频信号从电视卡输出后再输入到声卡的音频输入接口，外界的音频信号直接输入到声卡的音频输入接口，由声卡的模数转换电路完成对模拟音频信号的数字化采集工作。采集到的音频数字信号由内部的音频录制程序完成音频的编码任务，并保存到硬盘的用户指定的文件夹内。需要输出的音频信号由声卡完成数模转换后从声卡的音频输出端口输出。通过本机主板的USB接口，

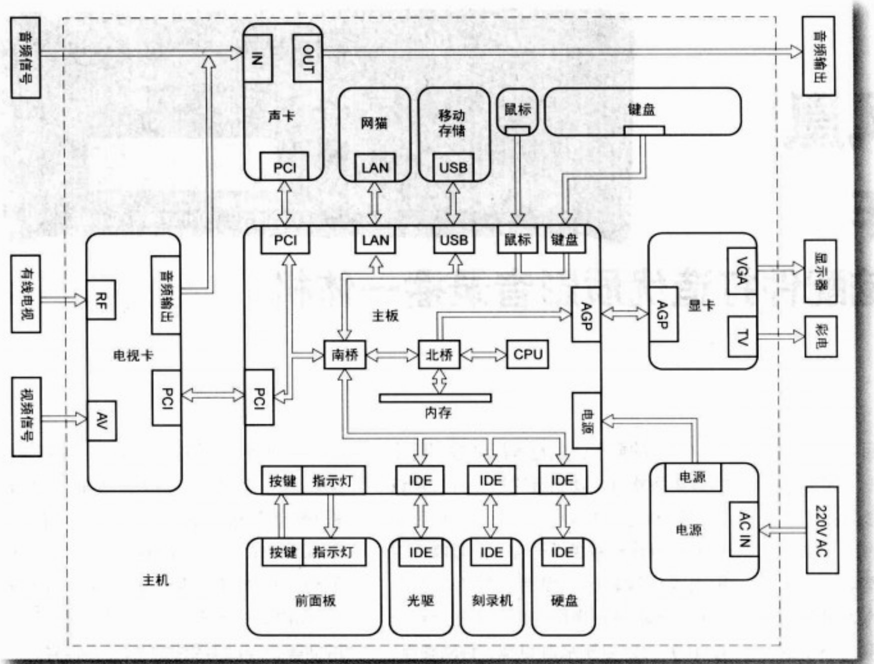


图1 整机信号流程图

可以直接与外界的移动存储设备进行影音数据的交换。通过本机主板的网络接口连接外置猫后，便可以从网络上下载各种需要的影音数据。主机安装影音编辑软件后，便可对保存的影音数据进行相应的格式转换、剪切、拼合、字幕、特效等编辑处理，处理后的数据保存在硬盘内部。需要刻录的数据内容，由本机安装的刻录软件控制刻录机按照设定的刻录格式和要求进行刻录。整机电源为机内的各个部分提供稳定优质的供电，保证各部分的正常稳定工作。各种功能的操作主要由键盘、鼠标和前面板的按键完成。

二 元件选取

因为计划投入资金较少，而旧的电视卡一般都不带驱动程序和遥控器，使用不方便，所以决定除电视卡外的其他配件全部采用旧配件。考虑到长期录制节目时整机的稳定性，所以对所有旧配件的选择要严把质量关：磨损较严重的、成色过低的、杂牌的、用料不足做工不细的、有过维修痕迹的一律淘汰！努力做到价格可以打折、质量丝毫不打折！

首先需要购买的是电视卡，因为它是本制作的主角，所以只有在确定了电视卡的型号后，才可以根据其对CPU和内存的要求确定主机及其他部件的配置，以免先配置其他部件时对其性能的把握过于盲目，造成组装完成后的整机的性能偏低，不能完成对于各种信号的采集录制功能，或配置过高造成整机资源的浪费。本制作选择的电视卡为天敏科技公司新近推出的电视精灵TVB400电视卡，见图2。本卡具备以下几个优点：（1）高频头部分采用了不锈钢材料做屏蔽，整个高频信号的降频解调工作全部在屏蔽盒内完成，避免了机箱内各种电磁干扰信号对视频和音频信号的干扰，接收效果更佳，同时采用了Philips 713X芯片进行9bit模数转换，使图像更清晰，色彩更艳丽，细节更动人，基本上看不到噪波干扰。（2）电视卡的音质非常的好，音质清脆、醇厚。（3）带AV输入接口，可在电脑上观看影碟机、卫星接收机等输出的视频信号，（4）配备功能完备的红外遥控器，轻松遥控电脑看/录电视节目，使整机的操作就像普通的彩电一样容易。（5）全频道电视搜索，最多可接收136个电视频道，带定时录像功能，轻松录制喜欢的电视节目。（6）录制的格式有多种可供选择。最高画质格式下录制的图像质量与原画面用肉眼看不出任何差别。（7）售价较低，在115元左右。综合以上，可以看出本电视卡的确是一款可以高清晰度收看和录制电视节目的低价优质电视卡。它的硬件的配置要求稍微高一些：观看电视节目的要求是PentiumIII 800MHz的CPU（或同档次的其他品牌的CPU），128M的内存，而录制DVD格式的节目的要求是PentiumIV 2.4GHz的CPU（或同档次的其他品牌的CPU），512M的内存。主机配置过低时，可能会出现不能观看节目或录制节目时程序停止响应的

图2 电视卡TB400

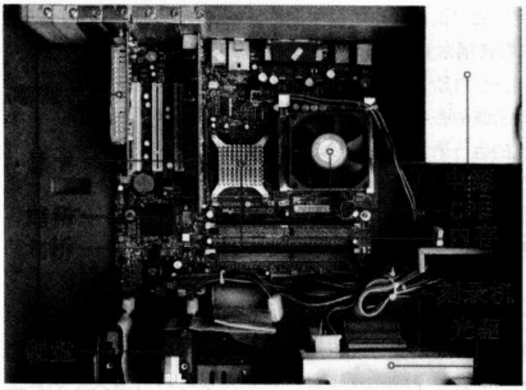


图3 机内连线布局图

图4 HK300—55AP

图5 希捷ST380215A

现象。在选择时如果有合适的旧电视卡也可以，录制的效果一般也不错。

接下来根据电视卡对主机的配置要求，再结合选用的视频编辑软件的配置要求来选择主板、CPU、内存等其他配件。视频编辑软件对主机的配置要求一般是越高越好，配置过低时只会导致编辑处理图像时的速度变慢，耗时过长，而不会像电视卡那样在配置过低时出现画面卡死、停顿或无法录像等不能工作的现象，所以在选择主板时主要考虑电视卡对配置的要求，视频编辑软件对各配置的要求只需适当加以参考就可以了。

首先选择主板，对主板的要求主要有以下几点：(1) 支持PentiumⅣ；2.4GHz左右的CPU，512M以上的内存，只有这样才能保证在采用DVD等高质量的图像格式录制视频信号时整机工作的稳定流畅！ (2) 具备PCI 2.1版本的或与其兼容的PCI插槽，这样电视卡才可以插入主板工作。(3) 具备AGP或PCI-E插槽，这样才可以选择输出端口丰富的显卡满足各种视频信号模式的输出功能。如果要求不高或只连接电脑显示器观看也可以选择只有VGA输出端口的集成显卡的主板。(4) 具备集成声卡电路，这样可以免除另外安装声卡的繁琐与额外的资金投入，当然如果为了追求更好的音频效果也可以选择优质的独立声卡。(5) 具有电源定时开机的唤醒功能，这样才可以实现利用电视卡的定时录像功能。经过一番精挑细选，最后终于淘到一块INTEL原厂的865GCL主板，见图3。整个主板没有任何维修痕迹，做工精良，用料实在，虽然已使用过一段时间，但将灰尘清理干净后仍然可以一睹其高贵优雅的风采，原厂的电路芯片搭配原厂的电路设计制造，一个字：好！

余下的任务轻松一些：挑选一块成色较好的PentiumⅣ 2.53GHz的CPU，一条优质的金士顿512M的DDR内存。最让人高兴的是仅用30元就淘到了一个外观有九成新的硬盘录像机的专用机箱，整个机箱用厚达1mm的优质板材制作而成，并且内部还有4个优质的滚珠轴承散热风扇。整体感觉非常专业、稳重、大气！比市场上常见的那种薄如纸的新机箱的屏蔽、避震、散热效果肯定要好得多了！

为了整机长时间稳定地工作，挑选了一款七八成新的优质航嘉HK300-55AP电源,见图4。电源采用12cm大口径的低噪声散热风扇，可以保证夜间工作时的低噪声，同时可提供超大风量。其额定功率为250W，实际功率可达350W以上，满载时转换效率可达72%。整个电路做工精细，用料很足，没有开过封，掂在手里沉甸甸的，心里很踏实！

硬盘选择的是自己手头闲置的两块硬盘，一块是希捷7200转80G，见图5；另一块是希捷40G的硬盘，用“MHDD”硬盘检测修复软件扫描一遍，没有发现任何坏道，确保了整机安装系统后工作时的稳定性。

显卡选择自己手头闲置的一个宝丽珑的型号为BD3376，显存为128M的显卡。其采用nVIDIA芯片，接口标准为AGP4X，输出接口有VGA和TV两种，可以分别连接电脑显示器或者普通彩电的AV端口。虽然与现在流行的显卡比较性能很低，但是用在本制作中是足够的。

刻录机选用手头闲置的八九成新的一款联建DVD刻录机，性能不错，完全可以满足一般的刻录需要。

键盘、鼠标选用手头闲置的。

至此，配件准备工作全部完成，因为对每一个配件的质量都严格把关，所以虽然选购到的是一些旧配件，但是心中仍然非常的踏实，丝毫没有因为它们旧而心感厌弃，却有种沙里淘金的感觉。整个制作中新购元件成本如下：电视卡120元，机箱30元；CPU、内存、主板280元；电源35元；共计460元，完全在计划投入资金范围内。就算加上手头闲置的光驱、刻录机、硬盘、显卡等的成本，总制作成本也在800元左右，与售价近3000元的市场销售的硬盘录像机相比，仍然有很大的价格优势。何况还可以好好地享受一下制作成功后的那份成就感和喜悦！日后的维护维修也可以做到了如指掌，驾轻就熟，丝毫没有后顾之忧！

三 制作方法

因为购买的旧配件一般都是使用一段时间，沉积灰尘比较多，所以首先对购买到的各种配件（主要是机箱、主板、内存、电源等）进行彻底除尘的工作，避免留下隐患。对于显卡、内存等插卡的金手指部分也要用橡皮反复擦拭几遍，直到其露出明亮的印制电路板上的铜皮颜色，以免组装完成后，触点接触不良造成故障！对于CPU等各个部位的散热风扇也要撕开其转轴中间部分的商标贴纸，对轴承加入几滴优质润滑机油，以降低风扇运转时的磨损、振动和噪声，保证长期工作的稳定性！一切准备就绪后就可以投入到整机的组装。

硬件部分的组装：先将电源固定在主机箱内部的安装位置，再依次固定主板、光驱、刻录机、硬盘、CPU、内存、电视卡、显卡等，然后连接好键盘、鼠标连线，检查无误后，可以喝杯茶稍微休息一下，再检查连线无误后，可进行下面的操作系统软件的安装工作。

软件部分的安装：(1) 操作系统选择 GHOST 安装方式的 WINDOWS XP SP3，其稳定性有目共睹，对硬件配置要求也低，非常适合本制作。安装前首先要对硬盘进行格式化和适当的分区，分区不必过多，80G 的分 10G 和 70G 两个区，40G 的一个区就可以。安装时把系统文件安装在 80G 硬盘的 10G 的分区。操作系统安装完毕后尝试一下各种基本的文件存储和影音播放程序的操作，正常后可以关闭开机自动运行的没有用处的程序，并对系统的各项设置进行一下优化，使整机的运行更为高效顺畅！因为本机的工作环境相对封闭，所以没有安装杀毒软件，以最大限度节约系统资源。操作系统安装完毕后可以对电脑试操作一下，没有异常后便可以接着安装电视卡驱动和应用程序。(2) 先根据电视卡的说明书连接好各种信号输入、输出线，检查无误后便可以进行软件的安装工作。电视卡驱动和应用程序的安装可以按照电视卡的使用说明书进行。如果选用的是旧的电视卡，驱动和应用程序可以到网上查找及下载。(3) 电视卡程序安装完毕，再经过搜台后便可以收看到来自有线电视的图像信号。再对图像品质和其他功能进行简单的基本设置后，便完成了电视卡的安装工作，可以收看或者录制电视节目。功能正常后便可以安装视频编辑软件和刻录机的刻录软件。(4) 视频编辑软件可以自行到网上下载，本制作选用的是“会声会影”视频编辑制作软件，其功能完备，操作简单，即使初学者也可以很快的掌握其中的操作要领而制作出相当专业的视频文件，这是一款非常不错的视频编辑软件。(5) 光盘刻录软件的安装比较简单可以参考刻录软件自带的安装说明文件进行。(6) 还可以安装适当的视频格式转换软件，方便各种格式的视频文件间进行互相转换的操作需要。

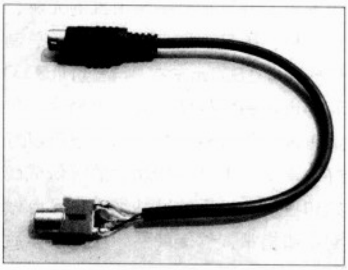


图6 S-VIDEO TO AV（简易）

四 注意事项

1. 因为本机的大部分硬件采用了二手配件，所以为了保证工作的稳定性，对于配件的质量一定要严格把关，细心挑选，不留隐患！做到整机低价不低质！同时要和商家谈好保修协议，以免挑选的配件存在隐蔽故障。

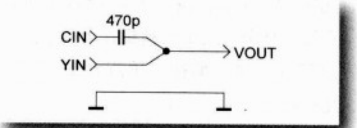


图7 S-VIDEO TO AV（简易）

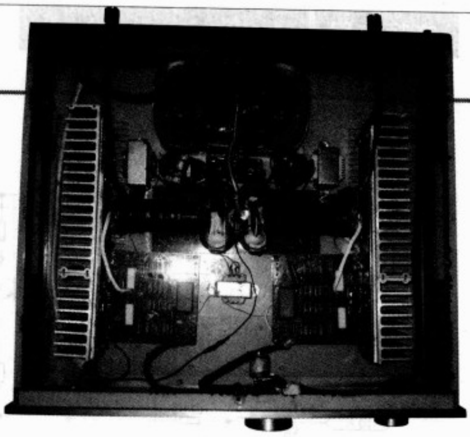
2. 各部分的配件在选购时要注意相互间的兼容性，性能的合理搭配，避免购买的配件不兼容、性能过低或配置太高造成资源浪费的情况！对于性能不是很了解的配件可以利用电脑城里便捷的上网条件到网上查询资料，确定无误后再行购买！购买主板时不要忘了向经销商索要与主板配套的I/O机箱挡板，否则空着一个大窟窿，不光难看还会带来一些危害！

3. 进行整机各个部分的配件组装和连接各个部分的连线时必须将主电源线拔出。如果没有拔出电源线而直接安装，可能会导致电视卡等配件的损坏，造成不必要的损失。同时要注意避免身体积聚静电对各配件造成危害，具体可以采用洗洗手或用手触摸机箱以及其他大型的金属体的方法来放掉身体上潜在的静电。

4. 本制作中选用的宝龙达“BD3376”显卡的视频输出端口（S-VIDEO端口），在实验中发现其色度信号输出线没有输出任何信号，而亮度信号输出线输出的是色度和亮度两种视频信号的复合视频信号，因此其端口更确切的应该说是一个复合视频输出端口，难怪其端口处标注为“TV OUT”，如果有采用了同类型显卡的朋友需要注意。如果使用的彩电的输入没有S-VIDEO端口，而显卡的输出端口又没有复合视频输出AV端口，可以自行制作一个简易的“S-VIDEO TO AV”转换器，如图6所示，电路如图7所示。电路非常简单，效果虽然与专业的转换器有些差距，但是非专业人士是看不出差别的。如果有更高的要求，可以制作一个“S-VIDEO TO AV”的专用电路，如图8所示，效果要更好一些，当然

全互补推挽三级功率放大电路的设计

◎ 陈永胜



2008年11月29日在《无线电》杂志与hifidiy论坛举办的广州音响作品展示会上，我带去了一款“229”功放，得到很多发烧友的关注。《无线电》杂志和hifidiy论坛曾对这款功放做过一些评述，作为本功放电路的设计者在此对此功放做一简单地分析。

该功放是2008年2月29日制作好的，由此取名为“229”。它是全互补推挽三级功放，其电路原理如图1所示，其结构为：输入差动放大级、电压激励推动级和末级电流放大级。

一 电路分析

1. 偏置稳压电路

稳压电路由R30、R32、R33和TL431组成，偏置稳压电路目的是使电路稳定工作和减小噪音干扰。R30为限流电阻，R32和R33为取样电阻，调节R32可以改变稳压输出电压。

2. 输入差动级电路

输入差动级电路由VT1、VT2、VT3、VT4、R3、R5、R7及R13等元件组成，VT1、VT2、VT3、VT4的作用是信号放大、信号倒相和信号反馈，R7、R13是VT1的偏置电阻，R5是VT1的射极电阻，R3是VT1的集电极负载电阻。由于电路输入差动级采用棱形四管工作，取消了恒流源，使该级输出电流比有恒流源的电路输出电流增大10倍以上。

3. 减少放大级数可减小交越失真

电流输出级由VT8、VT9组成，

制作起来要麻烦一些，其工作原理比较简单：经R3、R4输入的色度和亮度信号再经电阻R5与R6分压后得到约0.6V的复合视频信号，合成后的视频信号由VT1、VT2进行放大得到2V左右的视频输出信号，然后通过R11与电视机输入阻抗的分压后在电视机的输入端口得到1V左右的标准复合视频信号。

5. 一般的电视卡由于安装在主机箱内部，处于机内复杂的电磁干扰环境内，因此对于低频率的电视波段的干扰比较明显，表现为个别台图像模糊，有条纹，杂波等，这可以从以下几个方面入手加以改进：（1）选择优质的有线电视引入线，劣质的引线因为屏蔽效果差，将会接收外界的射频干扰。（2）整理有线电视的引线，将多余的引线剪掉不用，不要将多余的引线盘成圈存放，避免接收外界干扰，同时要保证有线插头与引线的连接要正确、可靠。（3）对于有线电视信号过弱的情况，可以增设有线电视信号放大器来解决。（4）主机内的电视卡尽量插在远离显卡等干扰源的PCI插槽内。

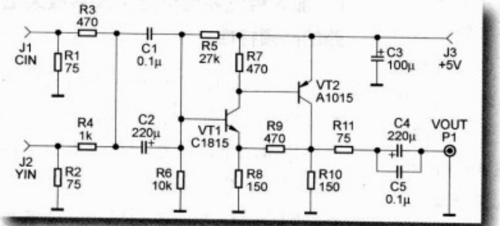


图8

6. 我国的广播电视制式为“PAL-DK”制，不要在电视卡的电视制式选择中选择为其他制式，否则将会造成没有伴音或没有色彩等不正常的现象。

7. 录制普通有线电视信号时，因为其清晰度一般不可能很高，所以最高选择到DVD录制格式就足够了，选择更高的录制格式不仅不会带来画面清晰度上的提高，反而会造成录制的视频文件的数据量过大，占用过多的存储空间。

8. 电视卡的定时录像功能需要主板的BIOS支持电源定时唤醒功能，并且要在BIOS中进行适当的功能设置才能实现，否则将无法实现定时录像的功能。

整个制作完成至今已有半年的时间，整机一直工作正常稳定，从没有出现“耍小脾气”或“罢工”的情况，让人非常的满意！而这一切的实现仅仅是很小的资金投入再加上自己的细心和用心！虽不能说是“点石成金”，但是“变废为宝”是当之无愧的！

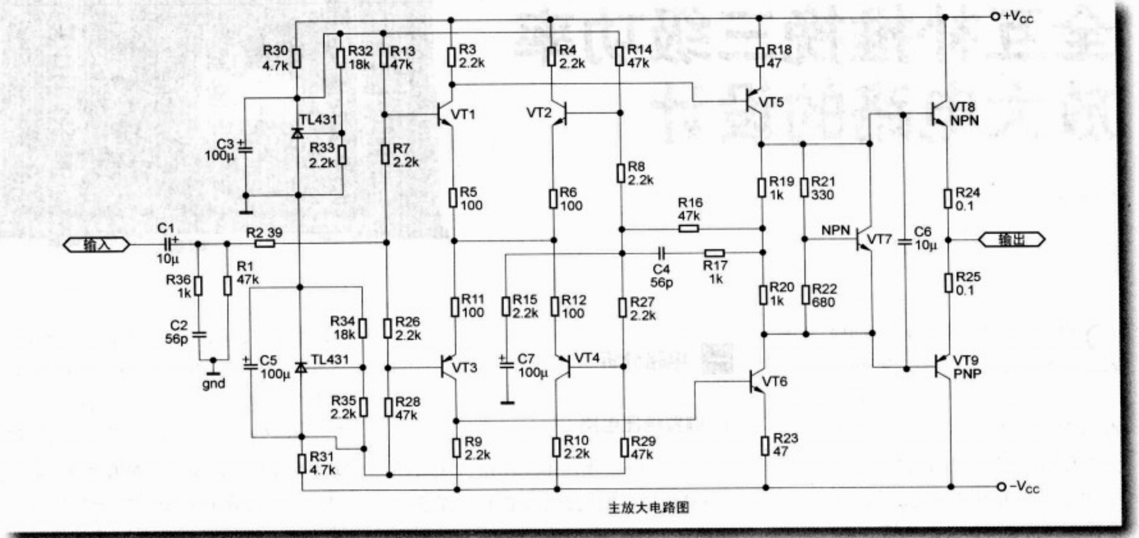


图1

VT8、VT9的作用是电流放大、降低输出电阻，采用一级放大减少它的交越失真。

4. 反馈信号取样点

VT8、VT9等元件组成的是互补共集电极电流放大路，从它的放大特性来看它只有电流放大而没有电压放大。在电路中的作用是起阻抗匹配，降低放大器输出电阻，提高带载能力，同时有隔离作用，减小前级放大与后级放大或负载的影响。

VT8、VT9与普通的小功率三极管一样存在结电容，在多级放大电路的通频带分析中可知，影响它的通频带和延时量是三极管的结间电容，分别有C_{be}、C_{bc}、C_{ce}，其中C_{be}、C_{bc}的影响较为明显。而VT8、VT9是大功率三极管，它的C_{be}、C_{bc}比普通的小功率三极管要大得多，一般在数百pF以上。若把反馈信号的取样点提前，如将图2所示的电路改成图3所示的电路形式，可有效减小延时时间和减小TIM（瞬态互调失真）的失真。

5. 提高差动级的输出电流可提高放大电路的转换速率S_R

转换速率S_R，其含义是每微秒内电压上升多少伏特，S_R单位用V/µs来表示，优秀的功率放大电路的转换速率S_R一般在数十伏以上，它反映了功率放大器的高频开关速度和高频小信号处理能力，这是现代功率放大器的一项重要指标。

影响功放的转换速率S_R的主要原因不是在差动输入级和电流输出级，而是在电压激励放大级VT5中。在VT5中存在3个结间电容（这是每个三极管固有的，不同类型的三极管它们的大小不同），它们分别是C_{be5}、C_{bc5}和C_{ce5}，如图4所示。在这3个电容中，影响比较严重的电容是C_{be5}和C_{bc5}。从交流等效电路可知，这其实是一个低通滤波电路，C_{bc5}影响最为明显。常用的中功率晶体三极管的C_{bc0}极间电容在100pF以上，而前端差动放大级的电流通常在mA级的范围内。若按该级电流2mA来计算，它的转换速率S_R为20V/µs。

若要将放大电路的转换速率S_R提升，有两种可行的方法：一种是选择极间电容C_{bco}较小的三极管，其实在中功率管中100pF的结间电容已算较小的了，再小结间电容的三极管没有太多型号可选择。另一种方法增大前级差动三极管的I_c电流。因为恒流源的功率放大电路受到恒流源的限流作用，电流不能再增大，所以在这种情况下想把电路的转换速率S_R提高，是没有更好的方法。本功率放大电路是把差动放大级的恒流源取消，它的动态输出电流比有恒流源的差动放大级大了10倍以上，因而它的动态转换速率由原来的S_R=20V/µs提升到S_R=200V/µs，该技术参数指标已经是较好的改良结果了。

6. 加入相位补偿电路可改善放大电路的高频特性

R17、C4是功率放大电路的相位补偿电路，如果没有加R17，就会产生高频自激现象，因为C4电容器的电容量虽较小，但在高频信号工作时，电容器的容抗Z_{C4}就会变得很小，产生高

频短路，使负反馈失去量平衡，从而出现一些自激振荡现象，所以安装了C4必须还要安装R17，也可以两只元件都不安装，这要根据实际情况而定。C2为高频信号旁路电容，R36、C2可吸收高频干扰信号，调整声音特性。使$R36=R17$、$C2=C4$，加入它们后，可使差动级的输入特性尽可能平衡。

二 电路改进分析

有些教科书说OTL放大器的内阻在一个信号周期里是有变化的。正半周输出时，对负载来说，总内阻是放大器的输出内阻、电源内阻以及输出电容容抗之和。负半周输出时，由电容代替电源供电，总内阻中减小了电源内阻，放大器内阻为0.1~1Ω，电源内阻在1Ω以上，影响很大。这种不平衡的总内阻使负载在正、负半周里得到功率有较大的差别，增加了谐波失真。另外，由于输出电容容抗对低频信号起衰减作用，因而使放大器的低频受到影响。例如已知扬声器阻抗R_L为8Ω，为使电容容抗对20Hz信号衰减小于3dB，即低频截止低于20Hz，则应使$Z_C/(Z_C+R_L)<(1\sim0.707)$，即输出电容必须加大到2400μF以上。而这么大的电容,其卷层电感引起高频相移也会导致音频失真，这种缺憾限制了它在要求高的场合应用。其实2400μF的铝电解电容以现时来说容量大吗？电容器其卷层电感带来的影响可采用薄膜无极性小容量电容并联来解决。

本电路的输入差动级中取消了恒流源，虽然对音乐重放有较好表现，但是对工作点稳定度是有负面影响的。原电路设计是采用双电源工作的，一般的功率放大器都有10℃以上的温升，使输出中点主要移达1V以上。这种情况有两种解决方案：一种是在前级VT1至VT4中加入热敏电阻；另一种方案是采用单电源供电工作，在输出端加输出电容。笔者认为，有输出电容和单电源供电的情况是最为理想的。

三 电路计算

1. 偏置电路采用 TL431 进行并联稳压，如图 5 所示。在一般情况下可得到较高的稳定度，稳压的电压一般设为没有稳压前的电压的 1/2~2/3。考虑到电压较低会影响输入阻抗，于是选 2/3 的电压进行工作，即为 24V 左右，可通过调节 R32 和 R33 的阻值来实现，一般调节 R32，它们的关系是$U_Z=2.45(R32+R33)/R33$ (V)。在U_Z电压输出较高时，如果大于 12V，I_Z的电流一般在 1～3mA 内，功耗较小，也较稳定。

2. 若要把反馈信号的取样点接到电压激励级输出端处，就不能把负反馈电阻R16直接接到VT5或VT6的集电极上，而是要经过均衡分配电阻分配后再负反馈。因为该点信号相对于地点是不平衡的，直流也一样，有±0.6V左右的直流电压。若$R19=R20$，信号经R19、R20分配后就比较平衡，使输出中点直流工作点得到保证，所以要加入R19、R20。R19、R20的阻值是根据I_{C5}的电流大小而定。要使VT8、VT9处于微导通状态，必须使$U_{ce7}\approx1.2V$（直流电压），若电阻R19、R20的取值过小，会影响VT7的温度补偿作用。$R7=12\Omega$，$R19=R20>12\Omega$，因此R19、R20必须选择几百欧以上。该级电路选择的是：$R19=R20=1k\Omega$。

3. 由于电路放大级数较少，因此VT1、VT2、VT3、VT4、VT5、VT6的β值（即电流放大倍数）应在200以上，VT8、VT9的β值也应在100以上。根据VT5、VT6的静态电流和VT8、VT9的β值，最后末级电流放大级最大输出的电流为$I_O=100mA\times100=10A$,10A可以推动8Ω及4Ω的负载。以4Ω来计算，最大输出电压为：$U_O=10A\times4\Omega=40V$，最大输出功率为：$P_O=40V\times10A=400W$。电路需要三级放大。

4. 根据负载阻抗和输出功率计算各级的元件参数。功率的大小是根据音箱的灵敏度和输出声压级而定，如果音箱的灵敏度为90dB/W，若要得到100 dB的声压，则需要10W以上的功率，因此一般的功率都在数十瓦。

当输出功率为50W，负载为8Ω时，需要的直流电压为$V_{cc}=\sqrt{P_O 2R_L}=\sqrt{50\times2\times8}\approx28V$。考虑到其他因素产生的损耗，则电源电压选择为36V，假设末级管的饱和压降为0V，即末级管的输出最大电流为$I_{Om}=I_{C8}=V/R_L=36V/8\Omega=4.5A$。一般三极管的β值在30～200内，为了减小放大级数，必须选择β在100以上的三极管，按颜色分有红色、橙色、黄色、绿色等，即R、O、Y、G，O级是橙色，它的β值一般在100以上。如日本的东芝公司生产的三极管2SA1943O、2SC5200O，O级是橙色，就是有100倍以上的电流放大系数。三肯公司生产的

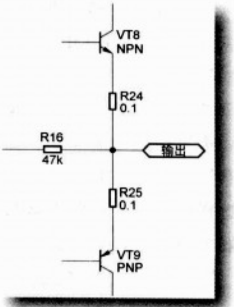


图2

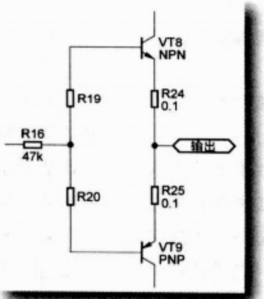


图3

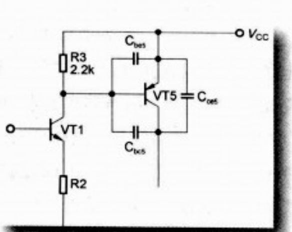


图4

2SA1216Y、2SC2922Y，Y级是黄色，表示有130以上的电流放大系数。按三极管的电流放大关系，输入电流为$I_{b8}=I_{C8}/\beta_5=I_{CM}/\beta_5$=4.5A/100=45mA。

电压激励推动放大级的输出电流必须大于I_{b8}，本级的放大电流取值为100mA，即激励电流I_{C5}为100mA。激励级的放大级别一般都有Y级，实测大多在200倍以上，以100倍来计算它的输入电流：$I_{b5}=I_{C5}/\beta_5$=100mA/100=1mA。差动级的电流I_{C1}比激励级的I_{b5}大，即在2mA以上。

输入差动级：若VT1的电流放大倍数β_1=200，I_{C1}=2mA，那么$I_{b1}=I_{C1}/\beta_1$=2mA/200=10μA。

当然以上的计算是考虑级间匹配问题，为了得到理想效果，一般情况下，前级放大的电流取值按理论计算值取足。可以按理论计算值取大一点。但后级的计算是用来参考，静态电流I_{C5}就不一定要取得大。若I_{C5}≈4.5A（取值比较大），则末级电路工作在纯甲类状态，输出内阻较低、控制力好、高频声音较顺滑、线条感细、中频声音饱满。若取，I_{C5}≈0A，则电路工作在乙类状态，本电路采用一级电流放大，静态工作电流在数十毫安级，已经有较好的表现。如把它调整为A级工作，肯定状态更佳。

四 电路调整

1. 差动级的集电极静态工作电流可控制在2mA左右，若不在该范围内，可同时调整R13、R14、R28、R29的值来实现，电阻值调大电流变小，电阻器阻值调小电流变大，若中点输出不平衡，可调节其中一个电阻来实现。

2. 末级电流放大级的静态电流调节。从晶体管手册资料中可查出常用的小功率三极管的工作参数（如2SA970、2SC2240 / 100V、0.1A、0.4W；2SA992、2SC1845 / 120V、50mA、0.5W；2SA1349、2SC3381 / 80V、0.1A、0.4W)。该级三极管的耗散功率为$P_1=I_{C1}\times V_{CC}$ = 2mA×36V = 72mW≈0.1W，为了使该级三极管能够比较安全地工作，它的标称耗散功率余量必须是实际耗散功率的5~10倍。为了得到较高的电流输出和安全稳定地工作，采用四管棱形差动是较为理想的做法。如果采用功率高一级别的三极管如2SB647、2SD667/120V、1A、0.9W、TO-92DOM封装管，会出现严重的工作点飘移，因为它们工作在mA级以下的电流线性非常差和不稳定。

3. 电压激励级静态工作电流调节，可通过测量R18电阻两端电压来换算，$I_{C5}\approx I_{E5}=U_{R18}/R18$，通过调节R18的值来实现。按该级放大的工作电流和工作电压计算该级放大的功率有$P_5=I_{C5}\times V_{CC}$ = 100mA×36V = 3.6W，3.6W的耗散功率要选择2SB649、2SD669，该类型三极管采用TO-126MOD封装，使用时需要把三极管安装在散热器上。

4. 末级电流放大级VT8、VT9的偏压可由温度补偿三极管VT7来控制，通过可调节电阻R22来实现。在调整时，最好不要将R22直接换上可变电位器。因为若可变电位器调节为零时，VT7截止、U_{ce7}很大，此时输出三极管偏压升得很高，静态工作偏流升得很大，会导致VT8、VT9损坏。因此，稳妥的调整方法是采用一只固定电阻与一只滑动可调电阻串联，即$R22+R22*$，具体连接如图6所示。

五 电路改进方法

若要将电路改为单电源供电，要按以下方法改造。

1. 首先把负电源线变为地线，作为直流电和交流电的参考点。

在扬声器负载和功放输出端串联一只数千微法的电容，如果是有极性的电容则电容正极接到电路，负极接到扬声器，扬声器的另一端要接到新的地点。

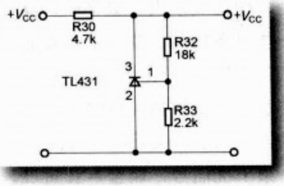


图5

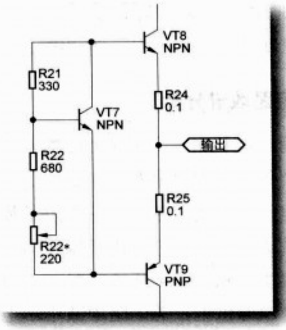


图6

2. 两个TL431相接的地点不能直接接到新的地点上，而是在它们之间串接一个电解电容，原先的地点接电容器的正极，新地点接电容器的负极。

3. 输入信号的地端可以直接接到新的地点上。

4. 采用全波整流，若变压器没有改动次级电压，则必须将其中一只TL431拆除，并将其2、3脚短接，同时将R13、R14、R28、R29的电阻值减小一半，注意此时功率会减小4倍；如果要保持输出功率不变，则要把变压器次级电压升高1倍。

5. 一定要把R1电阻器拆除，否则偏压不正常，会使输出中点直流电压降低。

6. 由于受直流电压反馈的影响，中点会比正常低一些，因此将电阻R13调整到电源电压的1/2。

制作功率放大器，电路的原理是基础，此外还需考虑其他的问题，如电路的整机布局，电路的制作工艺，电路的元件选择使用等，这些因素都对功率放大器的质量有很大的影响，因篇幅所限，在这里就不分析了。

NXP用于平板电视机的新型D类功放芯片（1）

◎ 吴红奎

平板显示设备因为身形纤薄，很难为音频功率放大器配置独立的散热器。早期的平板显示设备采用线性功放，功率输出能力有些偏小（如TDA1517及TPA1517等），甚至输出功率只有1W的TEA2025B、TDA2822也在应用。效率比较高的D类放大器因此逐渐受到青睐，如TI（Texas Instruments，德州仪器）的TPA3004D2（2×12W，8Ω）在早期的平板显示设备上曾有不少应用（像TCL的液晶电视机TCL-LCD47K3、TCL－26B66等）。随着以高清数字电视、平板显示器为代表的平板显示设备逐渐走红，输出功率在10～30W的D类功放集成电路成为各半导体制造商关注的热点之一，NXP（NXP Semiconductors，恩智浦半导体）自然也不例外。由于平板显示设备的主要受限因素是厚度，所以此类集成电路并不苛求无输出LPF（Low-Pass Filter 低通滤波器），以不采用独立散热器为前提，追求的是输出功率和音频性能的平衡，当然，此类集成电路也能应用在微型组合音响、无线音箱以及小型多媒体音响等纤巧型的音响系统中。不过，目前D类功放集成电路的成本和电路复杂程度都比线性功放集成电路要高一些，还主要出现在一些中、高端产品上。

NXP是从Philips（飞利浦）公司独立出来的半导体部门，目前就音频、视频集成电路而言，可以认为NXP即Philips。本文介绍的2组4款D类功放集

表1 NXP公司的TFA9810、TFA9815、TDA8932、TDA8933的主要参数规格（技术参数部分，Ta = 25℃，注明者除外）

项目	说明	条件	TFA9810	TFA9815	TDA8932		TDA8933	
V_p	电源电压	范围	8～20V	8～30 V	10～36 V或 ±5～±18V		10～36 V或 ±5～±18V	
		典型值	12V	12V	22V		25V	
	输入方式		单端/差分	单端/差分	单端/差分		单端/差分	单端/差分
	输出配置		BTL双通道	BTL双通道	SE双通道	BTL单通道	SE双通道	BTL单通道
I_q	静态电流		45 mA（有负载）	40 mA（无负载）	16 mA（无负载）		40mA（无负载）	
I_p	待机电流	待机睡眠模式	110μA	110μA	145μA		600μA	
P_o	输出功率 Ω：负载 Hz：输入信号 %：THD V：电源电压	16Ω，1kHz，10%	—	—	—	—	—	20.6W（25V）
		8Ω，1kHz，10%	9.5W（12V）	10W（12V）	15.5W（30V）	32.1W（22V）	10.3W（25V）	17.1W（17V）
		6Ω，1kHz，10%	12W（12V）	13W（12V）				
		4Ω，1kHz，10%	15W（12V）	18W（12V）	15.3W（22V）	17.2W（12V）	8.5W（17V）	
THD＋N	总谐波失真+噪声	P_o=1W，1kHz	0.04%	0.05%	0.015%	0.007%	0.014 %	0.01%
|DGv|	闭环增益偏差		—	—	0.5dB	—	0.5dB	—
a_{cs}	通道分离度	P_o=1W，1kHz	70dB	70dB	80dB	—	80dB	—
PSRR	电源纹波抑制比	工作状态	45 dB	45 dB	50 dB	75dB	50 dB	
|Zi|	差分输入阻抗		—	—	100kΩ	50 kΩ	100kΩ	50 kΩ
SNR	信噪比	Gv = 20 dB	96dB	96dB	—	—	—	—
CMRR	共模电压抑制比	$Vi(cm)$ = $1V_{RMS}$	—	—	75dB		75dB	
f_{osc}	自激或内部振荡器的典型振荡频率		550 kHz	550 kHz	320 kHz		320 kHz	
η	输出级效率	电源/功率/负载	89%（12V/9W/8Ω）	91%（12V/10W/8Ω）	93%（SE/30V/15W/8Ω）		92%（SE/25V/10W/8Ω）	
封装形式			SO32	SO32	SO32 / HTSSOP32		HTSSOP32	

备注：
(1)I_q一栏“无负载”的含义是：负载、吸收电路、输出LPF均没有接入；有负载的含义是：负载、吸收电路、输出LPF均接入。
(2)SO封装：Small Outline Package，缩小型小外形塑料封装，也叫SOP，引脚间距1.27mm，封装本体宽6.1mm。
(3)HTSSOP封装：Thermal Enhanced Thin Shrink Small Outline Package，带有散热焊盘的窄体薄型SO塑料封装，引脚间距0.65mm，封装本体宽6.1mm。

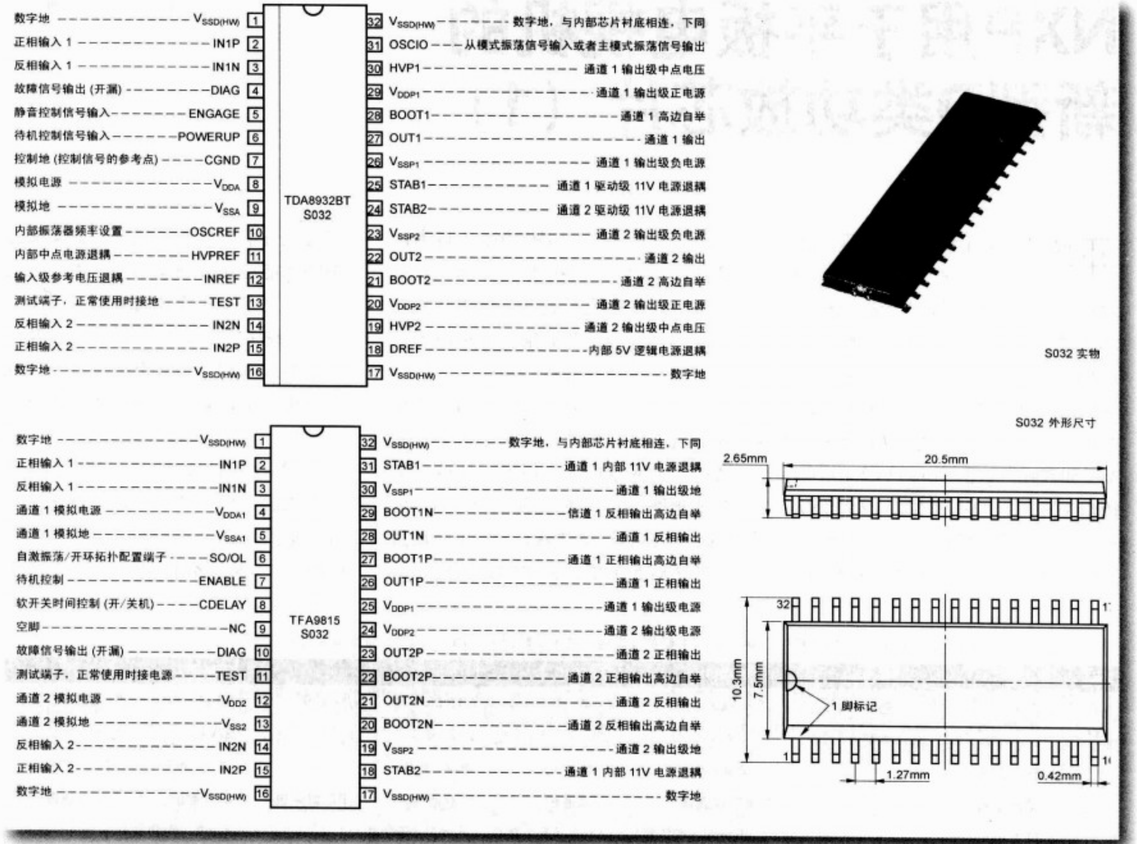


图1 TDA9832和TFA9815的引脚定义和SO32封装

成电路是NXP目前面向平板显示市场推出的比较有代表性产品。

一 概况与规格

1. 前世今生之升级版——TFA9810与TFA9815

TFA9810与TFA9815是引脚对引脚兼容的，即封装形式、引脚数量、引脚功能都是完全一样的，此外，两者的典型工作电压也一样。TFA9810上市较早，TFA9815可以视作它的升级版，两者的主要区别是TFA9815的功率输出能力有所提高。除非有特别说明，以下以TFA9815为例的说明内容均适用于TFA9810。

TFA9815 的引脚定义参见图 1，表 1 则列出了本文要介绍的、包括 TFA9815 在内的四款 D 类功放 IC 的主要技术规格，这四款 IC 有着相似的封装和技术性能，只是市场定位的侧重点不同。

TFA9815是模拟输入的双通道D类功放集成电路，内部包含全差分输入比较器、驱动逻辑、BTL（Bridge-Tied Load，桥接负载）功率输出级、保护与控制逻辑，适用于自激闭环D类放大也可以构建开环型D类功放，两种方式通过6脚进行转换，6脚接地为闭环自激方式，悬空则是开环他激方式。

基于比较器和PWM（Pulse-Width Modulation 脉宽调制）的D类拓扑结构属于经典的D类放大器，这种方式也称为“Σ”。“Σ”在数学运算符中是“加”或者“累加”的意思，D类放大器中，模拟输入信号和三角波（或者锯齿波，用得比较少）分别输入一个比较器的正相和反相输入端，将模拟信号和三角波进行实时矢量相加，就可以获得以脉冲宽度表示音频信息的PWM方波信号，然后送到输出级进行开关放大，电路框图如图2所示。将低频信号（音频）叠加到高频信号（PWM方波）上的过程，称为调制，三角波称为调制信号。

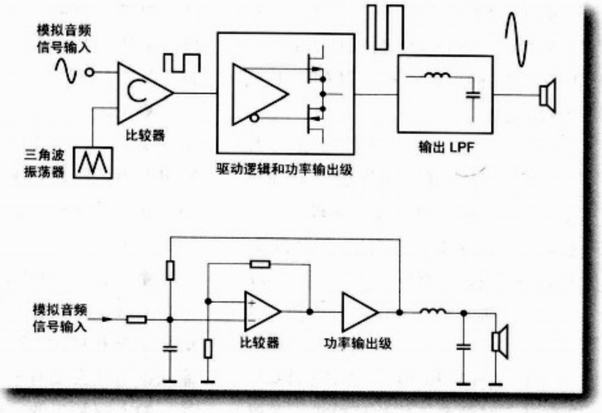


图2 他激（上）和迟滞振荡的自激（下）D类功放原理框图

产生调制信号可以用独立的振荡器（他激），一般不再特别说明，也可以利用比较器自身的振荡（自激）。我们所熟悉的超外差式收音机的高频电路，如果用一个晶体三极管同时担当本地振荡器和混频电路的核心器件，这样的单元电路称为变频器，一般用于普及型的产品中。如果混频电路和本地振荡器的核心器件是不同的晶体三极管，混频电路则被称为混频器，一般用于中、高档的收音机中。不过在D类放大器中，自激和他激并不代表产品的档次，而是各有各的特点。

自激方式的调制频率基本上是固定的，对输入端的比较器而言，没有信号时就是一个方波振荡器，输出端输出的是方波。输入端接有电容积分电路，将反馈回来的方波变成三角波，然后再和输入信号比较，形成固定频率的PWM调制，因此，自激方式是闭环结构。自激振荡可以用迟滞比较器或者移相方式来实现，迟滞比较器就是将输入级的比较器看成一个迟滞振荡器，单从振荡器的角度理解，可以将它视为基于施密特触发器的振荡器，比如用NE555构成的振荡器，也可以将它视为一个加有正反馈的单限比较器。也就是说，这种自激方式是闭环的正反馈放大器，与我们常见的音频放大器加有负反馈的情况刚好相反。因为是正反馈，而且反馈强度远比电路中的寄生耦合强得多，所以这种方式可以消除由于电路寄生耦合而产生的自激振荡。移相方式就是将输出端反馈回来的信号移相180°，刚好满足一个比较器启振并稳定振荡的条件，这种方式在ICEpower（一种振幅取样PWM调制的D类技术）中有应用，因篇幅所限，这里从略。

NXP以及之前的Philips的D类均广泛采用基于迟滞比较器的他激方式，IR(International Rectifier，国际整流器)的D类放大器参考设计也是这种方式。从集成电路的内部等效电路很难看到这种电路的具体形式，Philips早期的D类输出级TDA8925的应用电路，其前级电路采用是由运放组成的自激调制电路，可以参考，更容易理解的是图2下图所示的原理框图。

TFA9815 集成了相对完善的保护电路，这也是 Philips，即 NXP 的音频 IC 的一个特点，下文介绍的 TDA8932、TDA8933 所集成的保护功能还要多一些。TFA9815 集成的保护功能具体如下：

◆ OTP，Over Temperature Protection，过热保护，IC芯片的结温超过150℃进入“打嗝”保护方式，打嗝间隔5ms；

◆ OCP，Over Current Protection，过流保护：限制输出级的最大输出电流，“打嗝”保护方式，打嗝间隔为5μs；

◆ OVP，Overvoltage Protection，过压保护：供电电压超过极限值时，放大器将关断直至电压降至正常范围；

◆UVP，Under Voltage Protection，欠压（自锁）保护：低于最小工作电压将关断直至电压升至正常范围；

◆ ODP，Over Dissipation Protection，耗散功率超限保护：与OCP配合使用，结温超过135℃而同时又是OCP状态，放大器关断直至状态正常；

◆ WP，Window Protection，窗口保护：如果放大器启动上电期间，输出端对地或者电源短路，放大器将终止启动直至负载连接正确。之所以称为Window Protection是源于启动期间的检测方法，是时间窗口检测的意思，即在特定一段时间（时间窗）内，地、电源对某参考点的阻抗是否符合设定要求。

有这么多的保护，是否就是万无一失了呢？当然不是，只是多一层保护而已，可靠性不是单靠某一个器件所能解决的，要靠整个电路系统乃至整个应用系统。以 OVP 为例，如果供电电压超过设定的极限值后还继续升高，最后的结果必然是造成 IC 的击穿损坏。

TF9815的典型应用采用12V电源轨，即12V电源系统。除了平板电视机，用于PC多媒体功放也很不错，可以直接使用PC的12V电源而省去独立的AC-DC电源。

2. 孪生兄弟之稳定版——TDA8932与TDA8933

TDA8932与TDA8933最早上市于2006年末或者2007年初。TDA8932上市的时间应该稍微早一些，最初采用HTSSOP32封装，具体型号是TDA8932B，输出功率略大。TDA8933

最初则采用SO32封装，具体型号是TDA8933T，输出功率略小。TDA8932与TDA8933只是引脚功能兼容，因为底部带有散热焊盘的HTSSOP封装比SO要纤巧一些，引脚间距也更小，除此之外，两者的技术指标几乎是完全相同的，因此称之为“孪生兄弟”。经过升级改良，TDA8932的最新版本改用HTSSOP32和SO32两种封装形式，具体型号分别是TDA8932BT（SO32）和TDA8932BTW，而TDA8933则改为HTSSOP32一种封装形式，具体型号是TDA8933BTW，与TDA8932BTW脚对脚兼容，而与TDA8932BT引脚功能兼容。所以，以下除非有特别说明，对TDA8932的说明同样适用于TDA8933。对比表1和图1，不难发现，TDA8932与TFA9815有很多相似之处，只是部分功能的引脚和排列有所不同。

TDA8932采用他激“Σ”方式，内部三角波振荡器的频率可以在300～500kHz之间通过10脚的电阻进行设定，因此仍是固定频率的PWM调制。输出级是DMOS（Double diffusion Metal Oxide Semiconductor，双扩散金属-氧化物半导体）半桥结构，可以配置成SE（Single-Ended）半桥双通道（Stereo half-bridge）或者BTL全桥单通道放大器，支持单电源或者对称双电源供电。

DMOS是ST（STMicroelectronics，意法半导体）主导的一种功率场效应管制造工艺技术，这种工艺与传统的CMOS（Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Transistor，互补型金属氧化物半导体）的结构类似，只是针对大电流、高电压需要进行了改进，主要是加厚了栅极氧化层的厚度，漏—源极采用了更为狭长的沟道结构，有LDMOS（（Lateral DMOS，横向DMOS）和VDMOS（Vertical DMOS，垂直DMOS）两种类型，前者有更低的饱和导通电阻和更高的开关速度，后者则可以耐更高的电压。我们所熟知的、与LM3886齐名的TDA7294和TDA7293的输出级就采用了DMOS构成的输出级。

同一个系统中如果有不止一片TDA8932，这些集成电路就可以通过OSCIO（31脚）设置成主从模式，只使用“主”模式集成电路的内部振荡器，其他“从”模式的集成电路的OSCREF引脚（10脚）悬空，振荡器停用，从而实现调制信号的频率同步，降低干扰信号的“总量”和功耗。其实多片集成电路以不同频率工作也有好处，那就是虽然干扰信号的“总量”可能增加，但是干扰信号的分布频带和总体幅度却可能更低。就是虽然干扰不少，但是强度都不大，简单地说，同一把沙子（干扰）撒到碗里和很大的水池里所造成的影响并不是相同的，这种技术就是D类放大器中同样广泛采用的“扩谱调制”技术。

除了具备与TFA9815同样的保护功能，TDA 8932还增加了如下保护功能：

◆ TF，Thermal Foldback：热反馈保护技术，可以理解为主动方式的过热保护。当结温超过设定温度时，电路的增益会逐渐降低，如果温度仍然继续上升，达到设定值时，OTP保护会自动启动。

◆ UBP，UnBalance Protection：不平衡保护，当集成电路采用正、负双电源供电时，如果两者的绝对值不相等并且超过设定值，电路会进入关断保护状态。

◆ ESD，ElectroStatic Discharge：静电泄放保护，在一些分立元件或者集成电路构成的D类放大器电路中，输入端对地会接有一正一反两个二极管，输入端和电源、电源对地、正负电源之间也会反向连接有肖特基二极管，其目的之一就是为了实现静电泄放保护。除此之外，输入端的二极管可以起到限幅、防止电路过载的作用，电源上的反向二极管则可以对电源极性接反起到保护作用。

TDA8932典型工作电压是22V，可以适用24V电源轨，加之有UBP和ESD保护，因此除了平板电视机，对于平板显示器和车载多媒体音响系统也很适用，因为UBP可以起到对车载电路中特有的“搭铁”情况的保护，即电源和汽车底盘短路造成电源电压异常下跌时的保护。

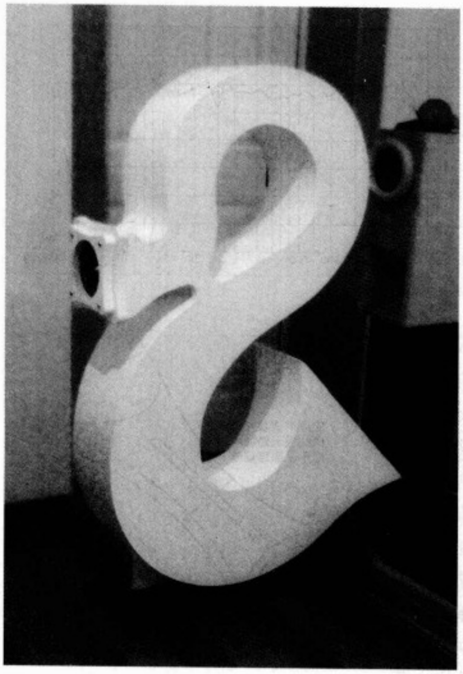
相关知识

NXP公司简介

NXP公司的前身是荷兰Philips Semiconductors（飞利浦半导体），NXP公司是从该集团独立出来的半导体公司，全称是NXP Semiconductors（NXP半导体），官方中文名称是恩智浦。

NXP是欧洲第二大半导体公司，在全球排名第8位， NXP公司的产品涵盖汽车电子、智能识别、家庭娱乐、手机及个人移动通信等五个领域，占营业收入70%的直接客户包括Apple、Bosch（博世）、Dell、Ericsson（爱立信）、Flextronics（伟创力）、FoxConn（富士康）、Nokia、Philips、Samsung、Siemens、Sony等。NXP公司目前在上海有一个电视研发中心，在北京有一个3G研发中心，在吉林有一个半导体工厂。

音响产品方面，NXP公司目前以车载功放集成电路为主，包括很多的G类产品。其次是平板电视机中的音响系统，以D类为主。NXP公司获得专利UCD（Universal Class D，通用D类放大器），一种基于自激拓扑的D类放大器方案正获得不少爱好者的关注。



『天鹅』音箱的创作

◎陆燕玶

不记得哪个伟人说过，没有音乐的生活将是黑暗的。喜欢音乐、拥有音箱的朋友有很多，但能花上不菲的价格去买一对外观漂亮、音质又好的音箱的朋友却寥寥无几。对于那些动手能力比较强的朋友，何不尝试自己打造一对既有个性，音质又入耳的音箱呢。本文介绍的就是一对自己打造的音箱，其外观很像天鹅，所以取名就叫“天鹅”。希望通过此文能启发有动手能力、又喜欢音乐的朋友做出外观更漂亮、声音更好的音箱。

1. 工具：曲线锯、锉刀、枪钉、修边刀、砂纸、螺丝刀等。

2. 材料：板材（密度板，比较致密的夹板也可以）、白乳胶、腻子、白色汽车烤漆。

3. 扬声器：5英寸全频，扬声器可以根据自己的条件选购相应的价格。本人使用的扬声器是自制的，频率响应为75Hz~18kHz（±3dB），功率为25W，灵敏度为89dB（0.83V），Q_{ts}为0.6。

4.箱体尺寸：**设计尺寸**：高度为110cm；宽度为22.6cm；深度为60cm；管道口为20cm×22.6cm。尾部开口为55cm×22.6cm。整个弯曲的管道是由细逐渐到粗。到开口15cm处张开，其外形犹如一把号角。

5. 造型设计：本设计灵感来之天鹅造型，计算在很多关于音箱的书籍和网络上都有介绍。由于所使用的扬声器是全频5英寸，其口径比一般家用的偏

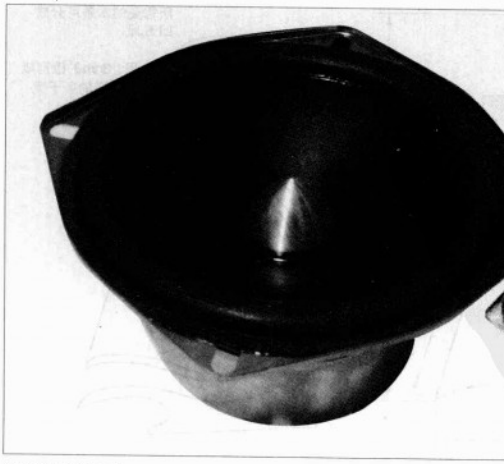


图1 5英寸单元1

图2 5英寸单元2

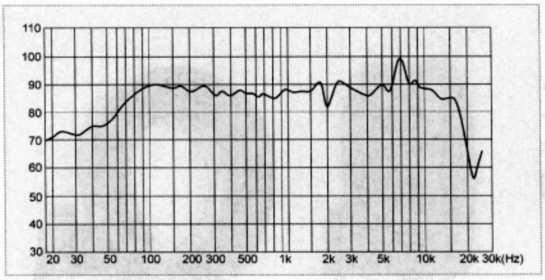


图3 5英寸单元1的曲线图

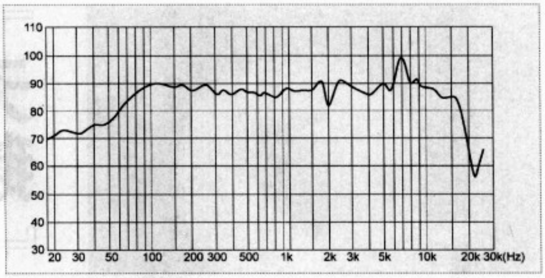


图4 5英寸单元2的曲线图

小，为了有效地发挥扬声器的低频段声功率，故将箱体设计成后加载形式，延长管道长度充分利用箱体后背部分的能量，达到低频提升的目的。这款设计试用 1/2 加载形式。管道长度约 2.46m，弯曲后高度为 110cm 左右，加上底座后总高度约为 120cm。低频频率设计为 70Hz。如果居室没有摆放落地箱的空间，也可以设计成书架形式，利用 1/4 加载形式，也基本能达到所需的低频能量。在实际试听的时候，发觉低频的能量令人满意。感觉上不像是这个 5 英寸小扬声器发出的低频，这是因为充分利用了后背的能量，当后背的能量通过管道和正面的能量产生叠加时，低频能量增加了 1 倍。

6. 制作步骤：（1）在整块板上画出所需造型的平面图，4快板子正好做2个箱子。（2）根据画好的样子用曲线锯锯出箱体板，再在多余的板子上锯出宽2.5cm的木条，要根据天鹅的箱体做的外边框。（3）把这些木条放到天鹅的面板上，用胶水和钉子钉牢，要密封，不要留气孔，直到所需要的厚度为止。（4）埋上需要的吸音棉，吸音棉可以有多种选择，本人试用的是高泡海绵，试用后效果比较理想，但是请注意，吸音棉最佳位置应该在内壁四周贴上，而不要随便放置。（5）打磨和批腻子。腻子最好上两三遍，这样打磨的时候就不容易产生瑕疵。（6）做好相应的底座，把底座按上，上紧螺丝，这样就可以上漆了。油漆一般也要上3~5遍，每上一遍，要等油漆干透，打磨一次，直到完成，最后就可以安装扬声器和连接箱内线。一对“天鹅”造型的音箱就这样做成了。

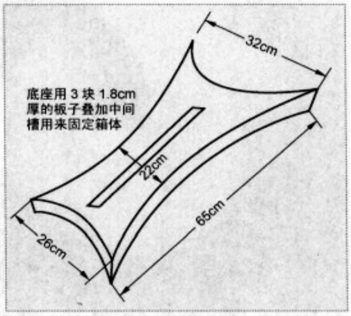


图7

7. 听感：听感实在是一件很难准确描述的，因为每个听音乐的人，由于生活背景、个人爱好的不同，对音乐的理解也会有比较大的区别。不过，总体上人对音乐大致的感觉是类似的，所以就“天鹅”音箱还是谈一下自己的感受。本人的听音环境不算大，12m²多点。通常用一些自己比较熟悉的碟来测试声音的定位或整个频段的平衡。本人试听用的是《蔡琴老歌》，人声质感细腻，定位比较准确，离箱感特别好，让你在听音乐的时候忘记了箱子的存在，也许这就是全频的优势吧。一般认为全频音箱对低频的表现力不够，在听《四季》的时候，我却丝毫没有这样的感觉，反而觉得低频下潜得非常到位，也没有拖尾的感觉。由于箱子刚做好，整个

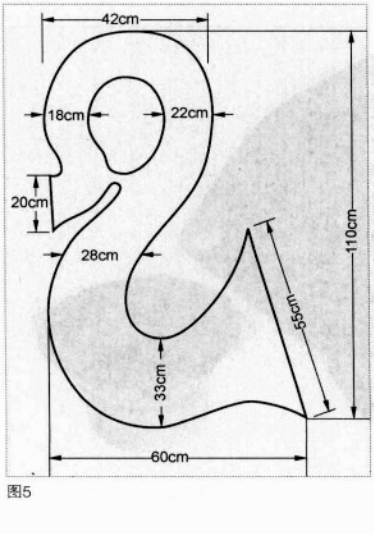
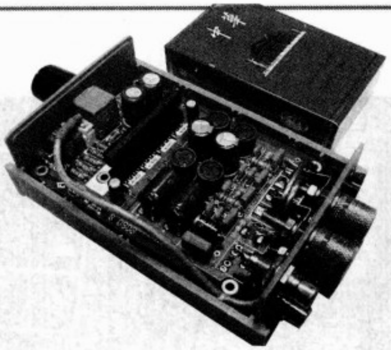


图5

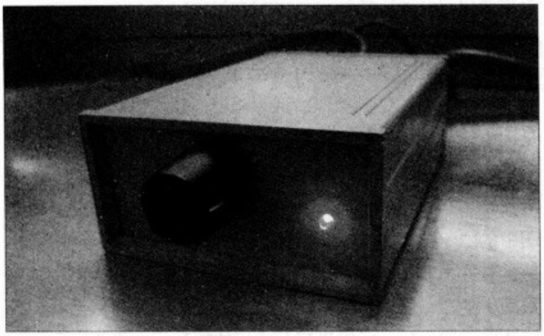
图6

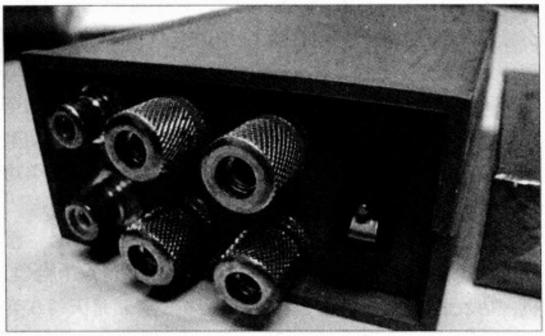


D类功放到底动了谁的奶酪?

◎安徽老罗

发烧多年，用过、听过不少功放，最后锁定了胆石功放，妙不可言。近年来，看到不少关于D类功放的争论，众说纷纭；直到看出些道理，一时心痒，拍出150元在网上淘来一块TA2020的板子（12W×2，8Ω负载），接上12V电瓶，插上2转1的普通信号线，仅仅听了两天，立马决定让10年前价值1000多元的前级6N4后级金封日立场效应名管J55/K175这台胆石机光荣下岗了。其理由是因为TA2020具有如下优点：（1）超高性价比。（2）外围电路简洁、体积迷你、高效节能、不发热。（3）更重要的是音质：与本人那台胆石机相比，高、中频全面胜出，低频推动力稍逊。这倒符合自己的听音习惯：喜欢高解析力的高频、柔美甜甜的中频、深沉但不震撼的低频，这也是本人选择6英寸小书架箱的原因。箱子是我12年前做的。当时一对美之声301高音(500元)，一对南鲸150－8X麻点涂胶纸盆低音（150元）。空音箱





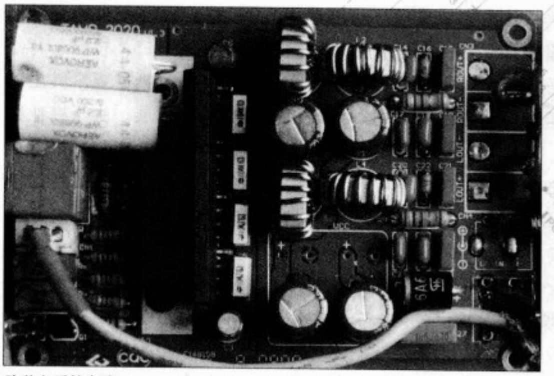
功能齐全的输入/输出端子

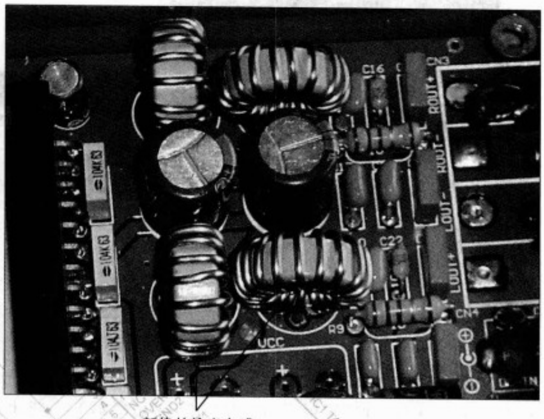
听音感觉上还有些紧，相信过一段时间会有所改善。本次试听用的放大器是电子管机自做的KT88单端，功率为6W左右，晶体管机是隆宇的2100，功率为100W，感觉电子管机的细腻度稍好于晶体管机，力量稍次于晶体管机；CD机是乐得965BX。总之，所有的器材都是工薪阶层可以承受，希望有动手能力的朋友，多动手，制作出自己喜欢的、富有个性的音箱。

8．体会：关于后加载形式的音箱，很多书刊上有相关的介绍，我的体会是，全频的总的阻尼系数Q_{ts}一般控制在0.7以下，5英寸左右的单体低频下限一般都不低于80Hz，后加载箱体的设计可以充分利用扬声器背部的能量，如果设计精确（这里主要是指管道的长度），能量叠加以后，在理论上是可以增加1倍，从而达到低频提升的目的。有人担心对管道的弯曲会对谐波产生影响，其实扬声器背部发出的声波经过弯曲的管道的传输，250Hz以上的频率被自然滤除，低频能量经开口处传播出去。1/4加载管长的计算公式如下：管长=波长/4倍的谐振频率。如80Hz谐振频率的管长计算：344/（4×80）=1.075（m）。如果用1/2加载，其管长=波长/2倍的谐振频率。至于是选1/2加载，还是1/4加载，看自己需要，住房条件比较好的，可以选用1/2加载，因为家里的空间比较大。音箱尾部的开口，相当于背部是一个指数展开的喇叭，要求其出口面积也按指数规律扩展。由于在业余条件下计算比较复杂，很难掌握好尺寸，而号角的设计所展开的曲线已接近圆弧，故按圆弧度制作比较容易掌握。对于管道宽度一般要求等于或大于单元振膜的有效面积。有兴趣的朋友可以尝试做做，会有惊喜的效果。至于弧度的弯曲，可根据个人的爱好和审美自行设计。

是买市售的成品箱，DIY了一块4cm厚的面板，挖150cm的沉口。箱子尺寸：36cm（高）×23cm（宽）×23cm（厚）。分频器也就是当时市售“佳讯”的（无衰减电阻）8Ω二阶二分频，只是把高音分频电容换了4.7μF绿色德国ERO薄膜电容，低音分频电容换了10μF国产XPP薄膜电容。（4）音色非常平衡、直白，没有任何修饰，符合发烧真理——简洁至上！还原真实！当然，这个TA2020也有两个弱点：一是功率偏小；二是满功率下会产生失真。不过现在新推出的D类功放宣称这些问题已经解决。

曾经听说几百元的D类功放能胜过几千元的功放，原本极不相信，于是去烧友家PK。音源是珠海原创A6T胆CD机、功放是2000多元的EL34单端胆机，音箱是天朗8英寸同轴箱，同听一曲蔡琴大姐的《渡口》，把我那个快60岁的老烧友听得目瞪口呆，只说出两个字：值了！与EL34相比：中高频胜出、低频不相上下。TA2020用上老烧友那1000多元的发烧信号线，整体比用普通线强了很多。再试听一些

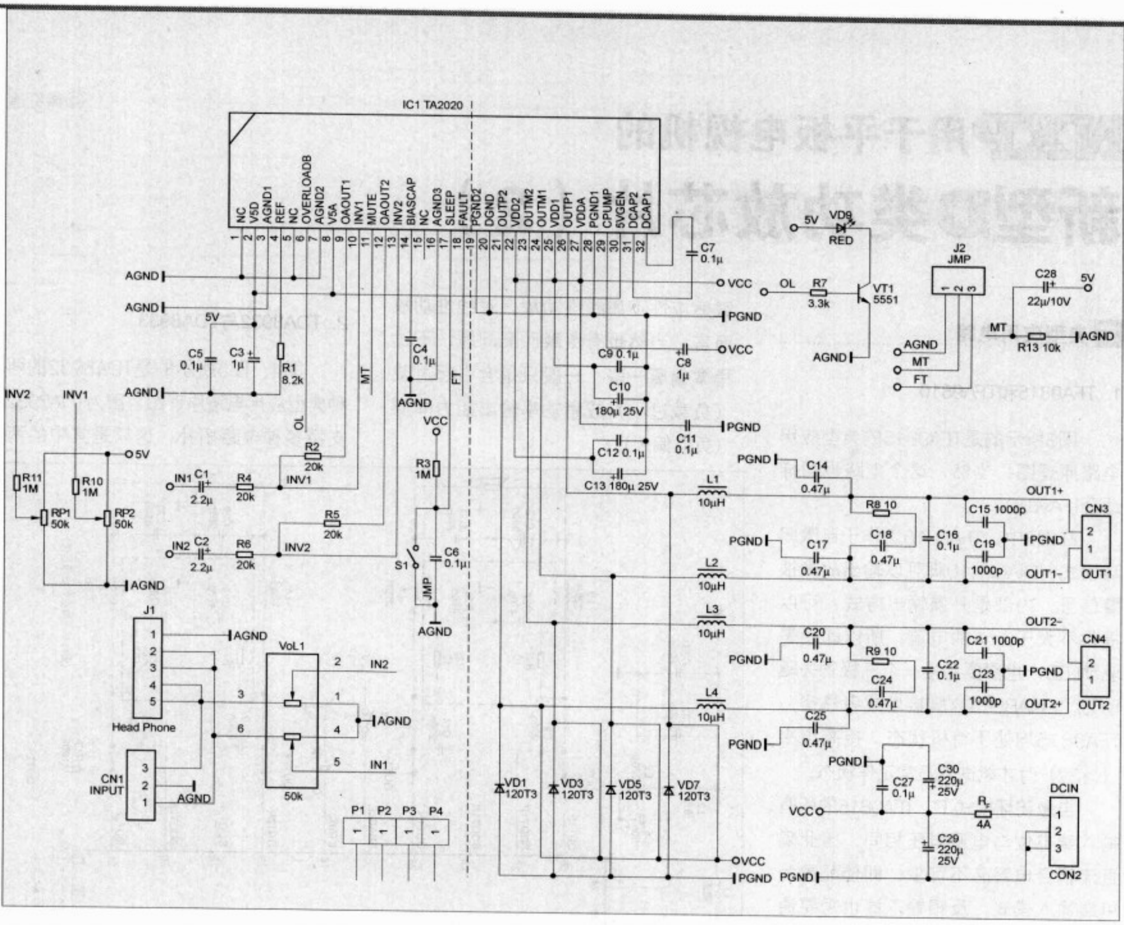

改装之后的电路

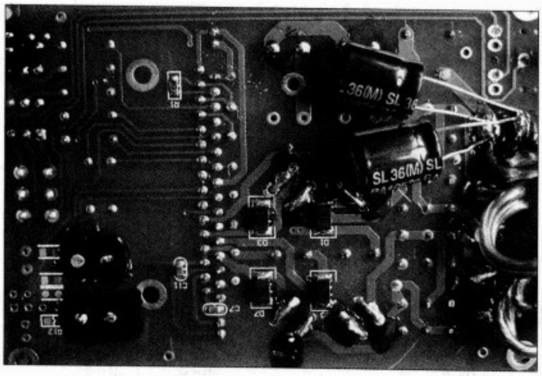


CD就能感觉出天朗的中高频有点噪声了，换上单端胆机听，反而觉得柔和很多。这充分证明了D类功放的直白，没有修饰地暴露出音源的优劣。

玩了几个月，总的感觉这款D类功放非常超值，高频清晰透明、中频柔美温暖，跟合肥翔声音响的300B胆机对比：高频胜出、中频类似、低频略差。据说低频的问题可能是因为输出电路中的滤波电感，即圆柱形的小磁罐电感，因内部空间小，只能用较细的漆包线来绕制，有碍了低频的电流输出。于是我在输出电路中将4个磁罐滤波电感（电路图中的L1～L4）换上由0.8mm的漆包线绕制的10μH磁环电感。在输入耦合电路中，将原来的2只1.8μF无极电容（电路图中的C1、C2）换上2.2μF德国AEROVOX薄膜电容。开机感觉焕然一新：低频量感有成倍的提升，中高频也有20%以上的提升。看来磁环电感的功劳非同小可。由于D类功放的音质主要取决于采样频率和滤波网络，其中滤波网络是由电感、电容和分频电感、扬声器共同组成，也就是说D类功

全副武装的接插头





放碰到了合适的滤波网络，出来效果的确让人惊讶。说到输入耦合电容，真是一个品牌一种味道，还不好说哪个品牌的最好，因人而异，跟自己的音箱能匹配才是最好。我试过红色“威马”电容，高频过了点儿，那种绿色的德国ERO电容也过了（不过做高音扬声器的分频很棒），最后选择了德国AEROVOX的薄膜电容，感觉很中性、平衡。

半年多以来，TA2020一直用12V5A（空载12.5V）的开关电源，仍感觉在中小音量下听音低频力度不足。其中，仔细对比过12V电瓶与12V5A的开关电源，音质基本没有区别！查了TA2020的指标，得知其最大电压可达14.6V，于是又花费40元钱淘了一个15V5A（空载15.5V）的开关电源。换上试听，感觉整体又有提升，低频的下潜深度和力度得到10%～20%增加，特别是在中小音量的情况下，整体比用12V电源强出一个级别，至少功率肯定有所增强，值了！不过，TA2020的发热量也有所提升，开机6个小时，在没有散热片的情况下，大概保持在50℃～60℃，有点儿烫手，看来TA2020能胜任15V的电源。

几经改进后的D类TA2020功放，别看它仅有两包香烟大小，如今能与价值5000元左右的2A3胆机同台PK。对于我们广大烧友来说，花最少的钞票获取最佳的音质，这才是硬道理！

NXP用于平板电视机的新型D类功放芯片（2）

◎吴红奎

二 典型应用电路

1. TFA9815和TFA9810

图3所示的是TFA9815的典型应用电路原理图，当然，这个电路也同样适合TFA9810。

在图3中，TFA9815工作于自激闭环模式，DIAG的10脚可以输出故障报警信号，内部是开漏输出方式，可以提供不大于2mA的电流，所以即便是驱动LED，也需要另接一个三极管去驱动它。ENABLE的7脚接地或者悬空，TFA9815均处于待机状态，接高电平（>3V）时才能进入正常工作状态。

自激闭环模式下，TFA9815的所有输入端电位与电源电压相同，因此隔直流耦合电容必不可少，即使配置为单端输入模式，反相输入端也需要通过隔直流电容接地。

输出端接有2阶的LPF（低通滤波器）以滤除高频载波，在EMI指标要求不严格或者简化应用时，虚线框内的吸收电路可以省略，这个电路可能会让我们想起线性功放中常见的茹贝尔电路，不过这里的电路并不是防止电路振荡而是与输出LPF一起更好的吸收超音频信号。D类功放输出端LPF电路中的L、C参数与负载阻抗是相关的，要取得相对比较好的效果，需要与负载阻抗相匹配，图示数值对应的是8Ω负载，6Ω负载对应的LC参数是15μH、1000nF，4Ω负载对应的LC参数是10μH、1500nF。并不是说如果不一一对应会有什么严重后果，只是滤波效果会差一些，或者说，EMI指标会劣化。这也算是D类的一个缺点：负载适应性不如线性功放，对线性功放而言，当然也有负载匹配问题，不过稍微偏离一些，一般只是会引起过载（负载过小）或者功率输出能力降低（负载偏大）。

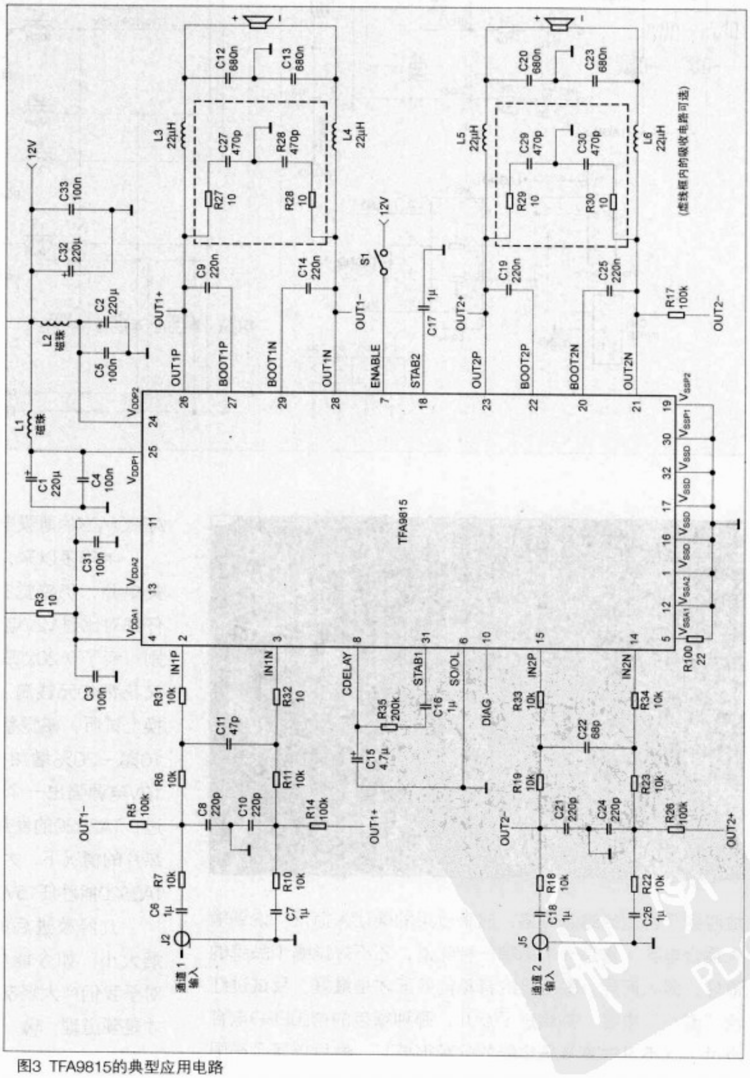


图3 TFA9815的典型应用电路

2. TDA8932与TDA8933

图4、图5所示的是TDA8932的两种典型应用电路原理图，因为TDA8932支持多种电路拓扑，这只是其中的两

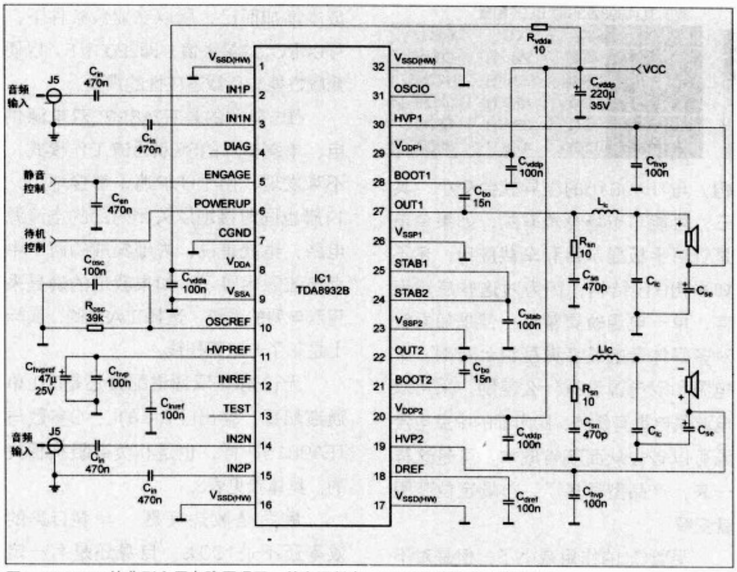


图4 TDA8932的典型应用电路原理图，单电源供电，SE双通道模式，单端输入

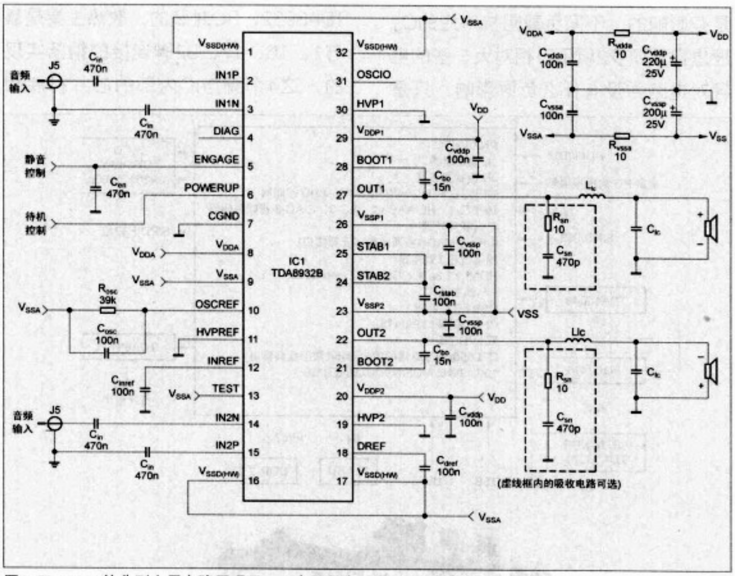


图5 TDA8932的典型应用电路原理图，双电源供电，SE双通道模式，单端输入

种配置，当然，这些电路也同样适合TDA8933。

图4显示的是单电源供电、单端输入的SE双通道工作模式，类似的还可以有单电源供电、平衡输入，双电源供电、单端输入，双电源供电、平衡输入，应用电路大同小异，主要是输出端的C_{se}是否接入，负电源端子接地还是接负电源，HVP端子是否接入电路等，双电源的一种用法如图5所示。如果不是成本敏感的应用，还有各种BTL全桥方式，详细情况可以参考其技术文档，这里不再赘述。需要特别说明的是，SE双通道工作模式，输出LPF是1阶的而不是2阶，BTL单通道模式才是2阶的，而官方的技术文档则将两者都视为2阶的，有些欠妥。

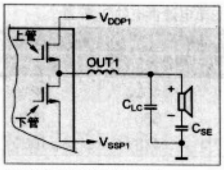


图6 半桥电路结构简图

与TFA9815相比，TDA8932增加了静音控制功能，接高电平（>2V）时IC进入正常工作状态，待机控制方式与此相同，静音与待机模式的不同在于，静音模式下，IC消耗的静态电流略大，但是进入正常工作模式的速度要快一些，控制、保护和检测功能有效的也强一些。

在SE双通道单端输入模式下，输入端的处理也与TFA9815稍微有些不同：通道1的反相输入端接地（通过电容C_{in}，下同），而通道2是正相输入端接地，换句话说，两个通道的输入端是反相的，相应的，输出端负载的电气连接也是反相的。刻意这样做的目的是为了减轻所谓的pumping effect（泵浦效应）。泵浦效应原本是个化工术语，这里称作 “虹吸效应”可能更容易理解一些。泵浦效应是半桥电路所特有的，原因是半桥工作时，上管和下管，也称为上臂和下臂或者高边和低边，是交替开关或者导通的，简单地说，是上管开，下管关，反之亦然，参见图6所示的简图。

上管打开时，下管是关断的，电源的能量通过上管流向负载。当下管打开时，上管已经关断了。由于整个电路不是纯阻性的，电流与电压的相位就会出现不同步，这样一来，一部分能量不能通过上管返回电源，只能通过下管倒灌电源，这个过程称为电源能量的回授。这种能量回授会造成电源电压的瞬间升高或者降低，虽然不至于导致电路出现致命的击穿故障，但是有时候会造成保护电路的误动作。这种情况其实与继电器线圈的

表2 TDA8932/33单电源供电的C_{se}配置

负载阻抗	C_{se} (μF)		
	f-3dB=60Hz	f-3dB=40Hz	f-3dB=20Hz
4Ω	680	1000	2200
6Ω	470	680	1500
8Ω	330	470	1000

表3 TDA8932/33输出LPF配置

输出配置	RL	LLC	CLC
SE半桥	4Ω	22μH	680nF
	6Ω	33μH	470nF
	8Ω	47μH	330nF
BTL全桥	8Ω	22μH	680nF
	16Ω	47μH	330nF

两端一般需要并联一个反向二极管的现象有一些相似之处。导致泵浦效应的主要因素大致有如下5种：

- ◆ 负载（扬声器）阻抗；
- ◆ 电源电压；
- ◆ 音频信号的频率；
- ◆ 电源退耦电容的容量；
- ◆ 其他通道的正向或者反向的电流大小。

还有就是图4中C_{se}、负载的电路连接方法。C_{se}通常称为输出隔直电容，一般接在负载与功放输出端之间，避免负载中有直流电流通过，而此处是接在负载与负电源（地）之间，这还不是关键，关键在于，负载同时是与相应的HVP（19、30脚）端子相连，原因是TDA8932内部集成了两个通道的中点电位电流源，即电压与输出端相同，提供负载电流泄放通道的电源。C_{se}的角色变为主要为交流信号提供和输入信号相同的0电位参考点。对音频信号而言，音频信号的通道其实是功放的输出端与相应的HVP端子，这样，输出隔直电容C_{se}对音频信号的影响就降低了，实际上，这是一种OCL电路的变形与发挥。

有爱好者评价说，NXP的这种做法非常之“傻”，因为一个功率电流源与一个半桥电路的成本几乎是一样的，这样做无异于舍近求远，与增加一个半桥组成BTL全桥电路相比，等于白白搭进了一个隔直电容C_{se}，还导致外部电路更加复杂。单纯从技术的观点来看，的确如此，不过从实践上来看，可能不完全是像我们想象的那样：首先，半桥电路与全桥电路的音色取向是有差别的；其次从产品差异化来看，如果同样采用双通道全桥结构，与TFA9815的差异就会变小；其三，可能与市场竞争有关，如果单单是针对平板显示器和车载应用，还不如采用BTL结构，因为对这些应用而言，单一电源轨更常见；但是如果针对多媒体音响或者微型组合音响，单电源和双电源没有什么差别，采用双电源供电更有优势，IC内部的中点电流源可以省去从而节省成本，可是这样一来，产品型号多了，市场定位范围就变窄了。

尽管C_{se}的作用减小了，但是对不同负载而言，对放大器的低频相应还是有影响的，不同负载阻抗对应的C_{se}理想容量如表2所示。相对大一些的电容对电路并没有什么负面影响，只是成本增加而已，所以在业余条件下，可以取C_{se}的最大值，即2200μF，以便兼顾性能与负载适应性的需要。

图5显示的是TDA8932双电源供电、单端输入的SE双通道工作模式，不难发现，两个HVP端子都接地了，11脚也同时接地以关闭内部的电流源电路，也就是说，内部集成的两个中点电流源闲置了，如果我们的确是采用双电源的系统，选择TDA8932，实际上是花了一些冤枉钱。

无论是SE双通道配置还是BTL单通道配置，输出LPF中的L、C参数与TFA9815一样，也是和负载阻抗相关的，具体参见表3。

最后是散热问题，毕竟D类的效率还不是100%，自身还是有一定的热量要散发。无论是TFA9815还是TDA8932，SO封装的，散热主要是靠与1、16、17、32脚连接的铜箔实现的，这4个脚与IC内部的芯片衬底相

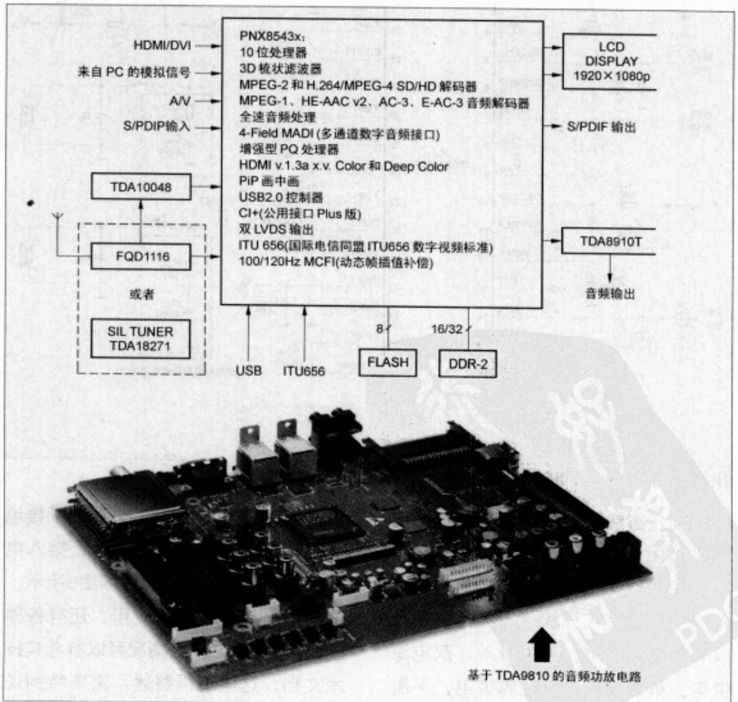


图7 基于TFA9810的液晶电视参考设计（TV543）的电路框图和电路组件实物

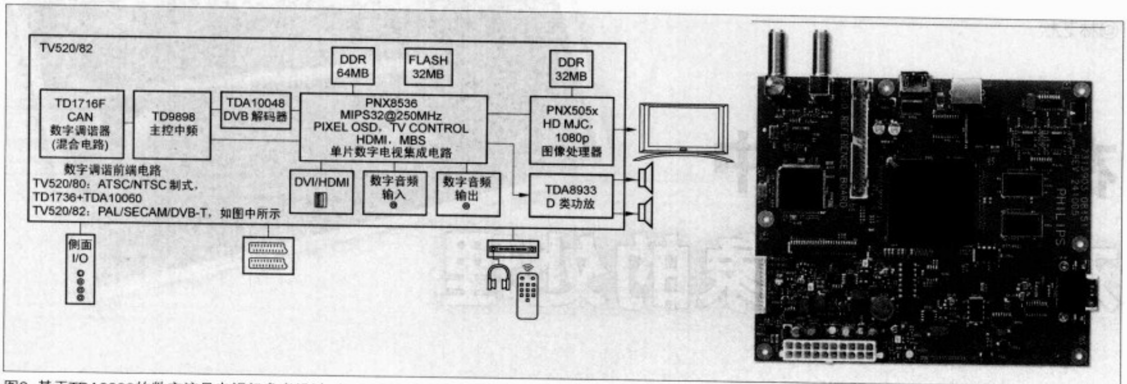


图8 基于TDA8933的数字液晶电视机参考设计（TV520/82）的电路框图和电路组件实物

连，与这4个引脚相连的铜箔尺寸应该不小于55mm×45 mm。所谓衬底，就是IC内部芯片的支撑物，本身有很高的介电常数，相当于我们常见的印制板的基板。单面的印制板的结构主要有3层：铜箔、基板、基板与铜箔之间的黏接剂，因为要导热，所以和陶瓷基板的印制板更为相近一些。HTSSOP封装的，除了上述4个引脚，还包括底部的散热焊盘，与它们相连的铜箔尺寸应该不小于55mm×40 mm。上述铜箔尺寸是针对常见的FR4基板、35μm铜箔厚度的双面印制板而言的。

三 应用

2007 年和 2008 年，NXP 先后发布了液晶电视参考设计 TV542 和 TV543，两者的主要区别是 TV543 具备 H.264 和 MPEG-4 解码能力，成本价格相差大约 8 美元，TV543 的实物与系统框图如图 7 所示。TV542 和 TV543 是 NXP 推出的液晶电视单片解决方案，这里的单片指的是数字音视频解码 IC，就是图 7 所示的电路组件实物中间的一片 IC，属于 NXP 开发的 PNX8543x 系列处理器，具体的型号是 PNX5100，而 TV542 所用的同系列 IC 是 PNX8542。这两款液晶电视机的参考设计所用的音频功率放大 IC 都是 TFA9810，位于图 7 所示实物的左下角位置（RCA 插座组件里侧），因为两者的引脚完全兼容，置换为 TFA9815 也不会有什么问题。在 NXP 推出的 DTV 液晶电视机参考设计 TV520 和 TV530 中，所采用的音频功放 IC 则是 TDA8933，如图 8 所示。DTV（Digital TV，数字电视机）指的是能够接收数字电视信号的电视机，而 TV542 和 TV543 针对的则是接收模拟电视信号的电视机参考设计，只是接收过程实现了数字化，即所谓的“硅调谐器”技术，它其实是一个接收模拟电视信号的数字化高频头，如图 7 电路框图中虚线框所示的电路单元，图 7 实物左上角的金属屏蔽盒便是。

适合平板电视使用的D类功率放大器集成电路一般有如下特点：

（1）单片双声道放大器。（2）RMS 输出功率每声道 10 ~ 25W 或者更大。（3）采用单电源轨，平板显示设备主要是指电脑显示器与电视机，该系统一般很少使用双电源。(4)无输出滤波器，虽然空间与 PCB 面积都允许使用输出滤波器，但是不使用输出滤波器的成本更低。无输出滤波器的放大器对其输出端到扬声器的线缆长度都是有限制的，对一些大屏幕显示设备来说，将线缆长度限制为 50cm 左右是不够的，实际上仍然需要输出滤波器，同时如果有些客户对 EMI 有特殊要求的话，增加输出滤波器可以改善 EMI 指标。

表4

型号	输出功率	THD+N	封装	备注	制造商
MAX9708	20W×2@8Ω，18V，10%	0.1%	TQFN56	差分输入，4级增益选择	Maxim
MAX9709	25W×2@8Ω，20V，10%	0.1%	TQFN56	差分输入，4级增益选择	
MAX9742	16W×2@4Ω，24V，10%	0.08%	TQFN36	差分输入，支持单、双电源供电	
LM4682	10W×2@8Ω，14V，10%	0.2%	LLP48	电子音量，过流保护，集成耳放	NSC
TPA3120D2	25W×2@4Ω，27V，10%	0.08%	HTSSOP24	单端输入，增益选择	TI
TPA3100D2	20W×2@8Ω，18V，10%	0.1%	QFN48	差分输入，4级增益选择	
TPA3107D2	15W×2@8Ω，16V，10%	0.08%	HTQFP64	差分输入，4级增益选择	
TPA3004D2	12W×2@8Ω，15V，10%	0.1%	HTQFP48	差分输入，电子音量，线路输出	
AD1994	25W×2@6Ω，10%	0.003%	LFCSP64	单端输入，ΔΣ调制	ADI
TDA8922	25W×2@8Ω，±20V，10%	0.02%	DBS23P	差分输入，可桥接	NXP
MP7722	20W×2@4Ω，24V，10%	0.06%	TSSOP20	单端输入，OTL输出	MPS
BD5421EFS	17W×2@4Ω，12V，10%	0.1%	TSSOP44	单端输入，增益和开关频率可调	ROHM

Maxim：（美国）美信半导体，NSC：美国国家半导体，TI：美国）德州仪器，ADI：（美国）模拟数据公司，MPS：美国芯源系统股份有限公司，ROHM：（日本）罗姆株式会社。

◎林芝松

在组装功放中对自激现象的处理

Hi-Fi大功率DMOS集成功放电路——TDA7293，比风行一时的TDA7294更优秀，它具有低失真、低噪声、高耐压、大功率输出等优点，挡不住诱惑的我想用TDA7293打造一台5.1声道的AV放大器，于是网购了几块带扬声器保护功能的PCB板及部分元器件，先试装了一块100W×2功放板，如图1所示。用一只800W，交流26V×2环形电源变压器组装了±35V的电源（准备用于AV放大器）。接上假负载（8Ω，50W的线绕电阻），连接电源，检查无误后，通电准备测试，几分钟后就闻到油漆烤焦的气味，马上查找气味来源，发现是输出端的RC串联高频相位校正网络的电阻发热烫手，用手摸假负载电阻也发热，功放集成块的散热片也有一定的温度，迅速切断电源。

输入端悬空未接任何信号，组装时所有的元器件都认真检查过，±35V电源也正常，问题出在哪呢？接着将示波器探头接到功放板输出端，再次接通电源，示波器屏幕上显示如图2的波形：这是一个频率为173.5kHz、幅度为22.6V的三角波，至此才明白，原来电路存在强烈的自激振荡。此时，回

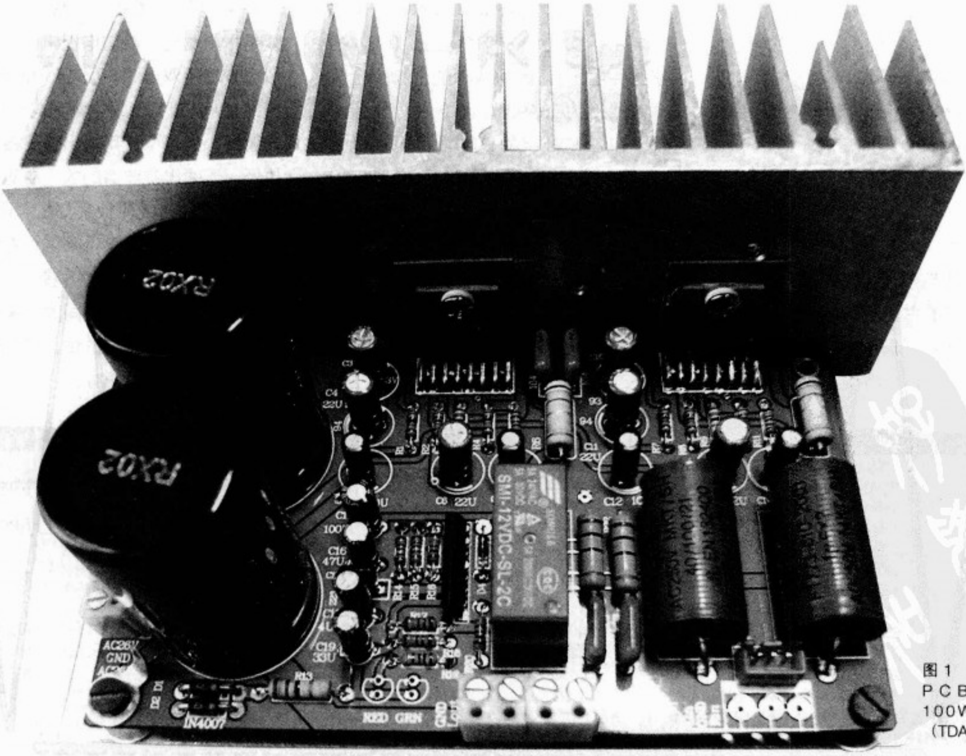


图1　用网购的PCB板组装的100W×2功放板（TDA7293×2）

过头来认真检查了印制板，与厂家推荐应用的电路图无异，但在布线上存在明显的瑕疵，参见图3。

图3中的“1”可看出信号的输入端与放大后信号的输出端紧贴在一起布线，尤其是右边的一块TDA7293的3脚输入和14脚输出的线路紧挨着平行布线，这是犯了布线上的一大忌，也是引起自激的主要原因。再看“2”中输入端的耦合电容的焊盘，似乎没有必要如此处理，这也是容易引起干扰和捡拾杂音的。笔者认为此处的耦合电容的耐压也没必要采用250V或400V，100V甚至63V也够用了。电容的耐压越高，体积也越大，也越容易捡拾杂音，只要采用优质电容，大可不必担心因耐压低引发漏电而导致失真。信号输入端的布线应遵循越短越好，就近为佳的原则。

通过以上分析，笔者又做了一个实验：见图3中的右上角的TDA7293的靠近3脚处线路（铜箔走线）用刻刀切断，再通电测试，结果自激振荡消失，一切正常，如图4所示。图4所示的屏幕下端的波形是右边的功放块（切断靠近3脚处的线路）输出的波形，而上端的波形是左边功放块（未切断靠近3脚处的线路）输出的波形，虽然没引起自激振荡，但噪声电平已大于100mV，可见输入端的走线对功放的信噪比的影响是较大的。

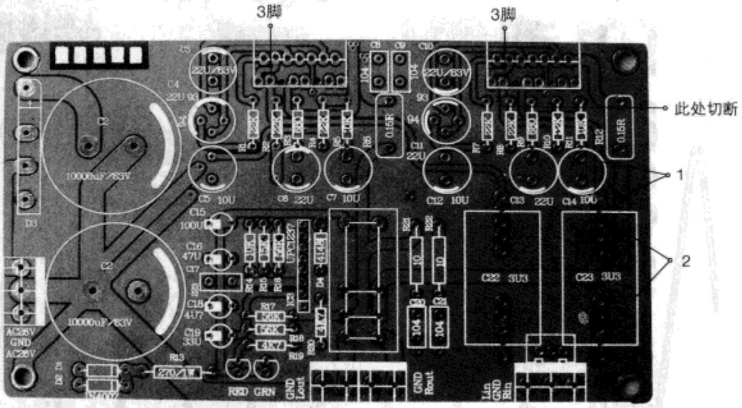


图3 TDA7293双声道PCB板

接着对图1所示的功放板进行改造：焊下左、右声道的耦合电容（图3中的C22、C23），与右声道一样切断左边的TDA7293的近3脚处线路，输入耦合电容选用1μF/63V的MKP电容（也可用两只并联成2μF的电容器），直接焊在TDA7293的3脚上，并想法固定牢靠（比如用热熔胶），输入信号经前级放大（有必要时）用双芯屏蔽线接到耦合电容，屏蔽层单端接地，参见图5。

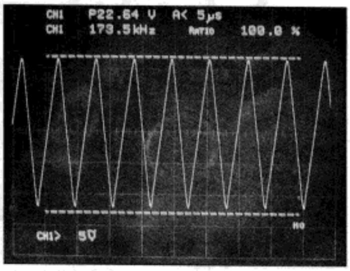


图2 自激振荡波形

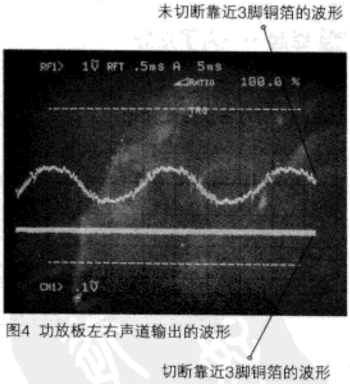


图4 功放板左右声道输出的波形

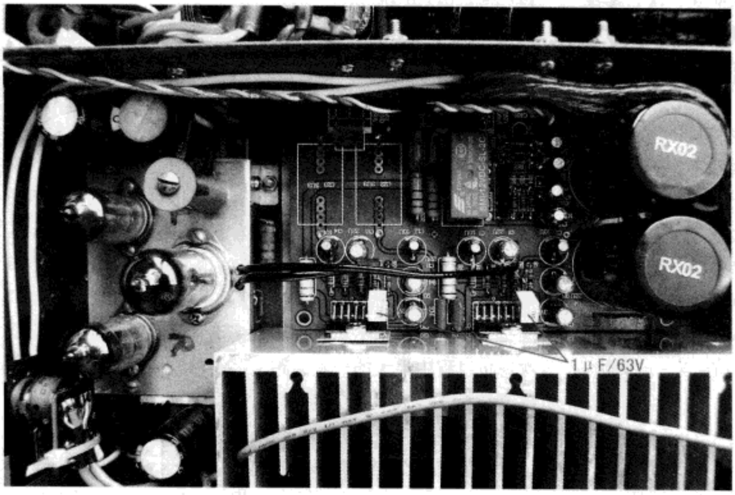


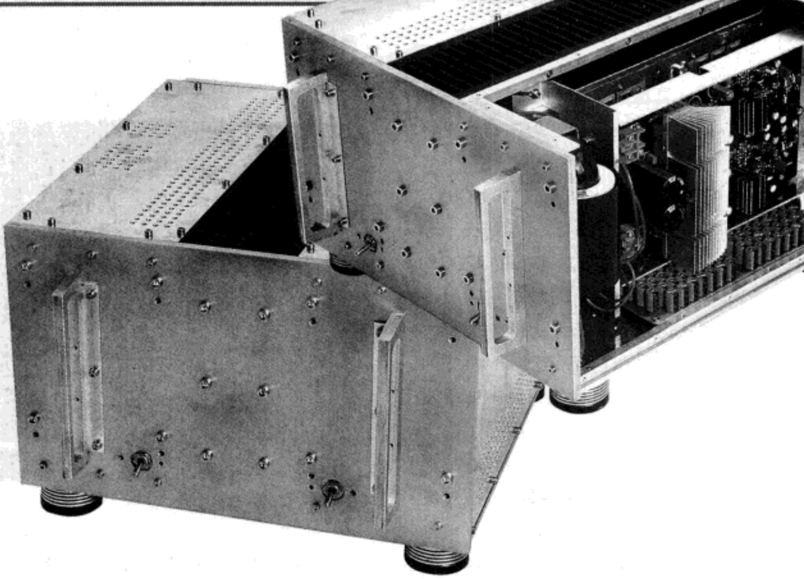
图5 改造处理后的功放板及DIY的功率放大器

功放板经上述改造处理后自激现象彻底消失，而且信噪比相当高。

笔者通过网上搜索，发现网购的PCB板，布线设计上存在类似上述问题的为数还不少，爱好者在组装时应引起注意！

魂牵梦绕全平衡 SA300纯后级

◎牛歌 张新苗



在音频放大器中，全平衡电路可以说是一款“终极武器”、Hi-End 级放大器的专属电路，高要求的电路设计、元件选配、高难度的安装与调试、高品质的声音表现，都使“全平衡”成为发烧友心中的“珠穆朗玛峰”。制作一台真正的全平衡放大器，是每一个焊机烧友的夙愿。笔者也不例外，经过长时间的精心准备，经历了漫长的制作和调试，终于美梦成真。下面将整个过程详细呈现，与烧友共享。

一 缘起——为了更好

自笔者从2008年重新开始焊机后，一口气装了好几款功放电路，可以说是彻底过了一把焊机瘾。说到音质效果，虽然都还不错，但也都有不尽人意之处。思来想去，决定多投入一些精力，制作一台具有高水平的参考功放。既然是做参考机，那就不可能采用大众化的电路和用料了。于是，全平衡电路走进了我的视线。

所谓全平衡，是相对于普通功放电路对信号进行单端放大而言的(这里所说的单端与推挽电路的单端不是一回事)，单端功放是对以地线为基准的信号进行放大，而全平衡电路则是对信号的差值进行放大，因此电路复杂程度上至少是单端功放的两倍，同时真正的全平衡电路的两路放大是你中有我、我中有你的结构，互相关联，安装和调试的难度都成倍增加。笔者以前虽然制作过多款不同电路的功放，而且大都是马到成功，但对于全平衡这样复杂的电路，却是头一回尝试。

二 电路选择——天遂人愿

为了找到一款合适的电路，笔者查阅了不少资料。经过反复思量、比较，初步选定了发烧友何庆华先生的一款电路。正在分析电路准备设计PCB之际，何庆华先生又新推出了SA300全平衡功放，而且针对高级发烧友限量放出一批PCB板供试装。这可真是心想事成，笔者马上与何先生联系，并顺利地得到了一套SA300的PCB板。这一来省去了大量的设计与修改PCB的时间，同时又得到了一次学习PCB设计的难得机会。

三 跑板与抄板——痛并快乐着

这里要说明一下：由于是商品机，并没有配套的PCB文件提供，而SA300全套PCB使用了黑色阻焊层，虽然视觉效果很酷，但是覆盖力太强，完全不透光，给我分析PCB走线设计带来很大的困扰。

为了分析电路，我只好进行了一次“抄板”，前后花了数天时间。不得不说的是，板子上的很多细节确实是与官方提供的原理图有差异的。单从电路图上看，似乎SA300只是两个单端功放组合，实际上自输入缓冲之后，整个电路都是差动工作的，无论是平衡输入还是单端输入都是如此。这对音质应该有本质的影响。此外还有一些退耦和反馈参数等细微之处有差别，应该都会在一定程度上影响声音的表现。

抄板与跑板是一件非常辛苦的事情，但我认为苦中有乐。这次花费的精力巨大，一方面是由于黑色阻焊层的原因，另一方面电路相对也较复杂。不过最后的收获也是我历次焊机过程中最大的一次。跑电路之前，我觉得SA300实在是够复杂的，待到真正跑完了，又恍惚间觉得它其实挺简单，这应该是何先生PCB设计的功力，板上布局合理，功能单元既各自为阵又协调一致，处处体现了设计师的心血。

从PCB的设计来看，这是我焊机以来见过的最合理的设

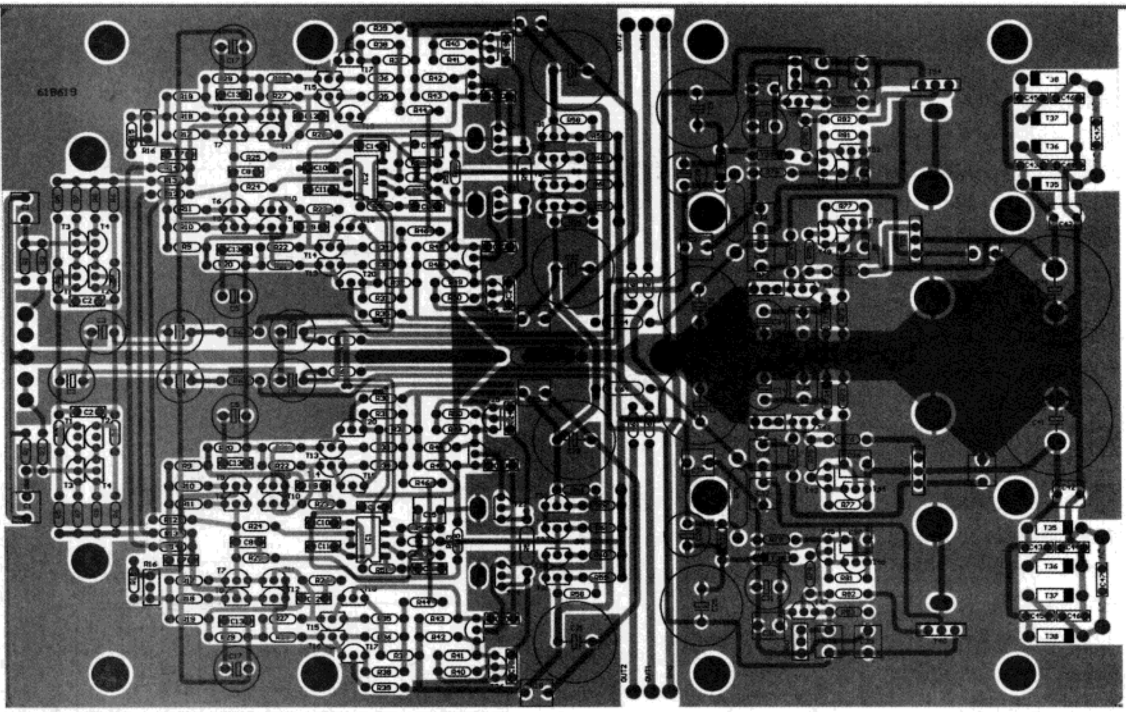


图1 增益PCB板

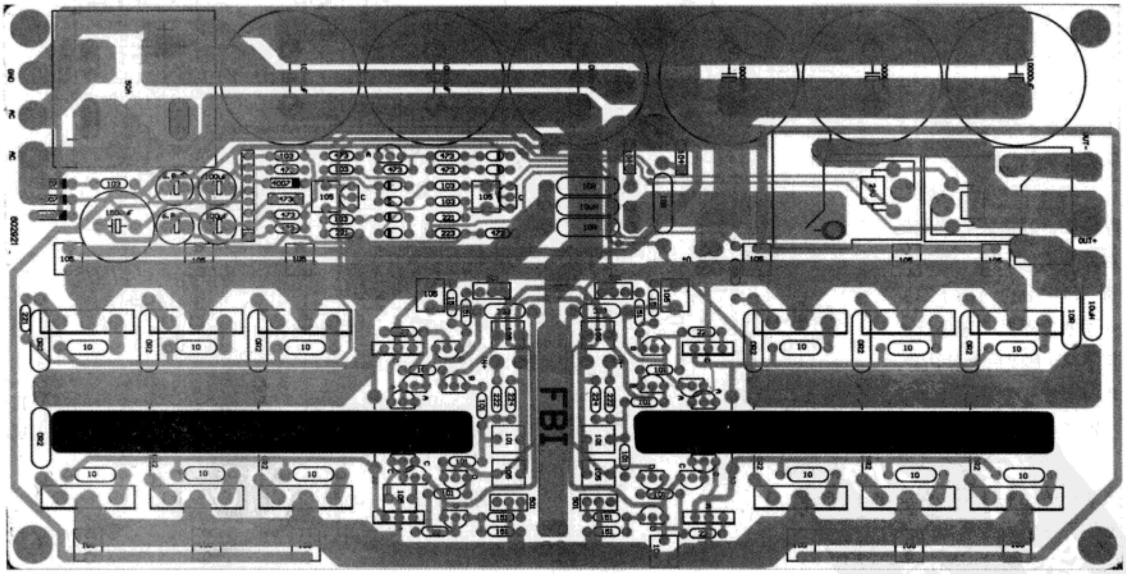


图2 0dB的PCB板

计。按原设计的机箱布局，输入、输出的接线都非常之短，最大限度地避免了信号线对声音的影响，大电容位于0dB板上，与功率管的距离很近，对于改善大动态的响应很有好处。电路的分支均从信号的流向考虑，并没有单纯地取最短路径。全板遍布大大小小的退耦电容，过孔均进行冗余设置以防止失效……SA300的PCB图见图1与图2。

四 电路分析——经典之作

SA300的主电路图见图3，它分为增益板和输出板两大部分。增益板电路参考了金嗓子的全对称设计，主电路全部采

用菱形差动，共射—共基结构，这种电路结构的特点是动态宏大，过载能力强，解析力高。输入、输出都加上了缓冲电路，进一步改善了阻抗匹配，提高了保真度。由于是平衡方式工作，本机的输出功率比较大，标称达到每声道有300W/8Ω，强大的驱动能力可以充分驱动那些大功率音箱。

SA300增益板的主电路等效图见图4 。这是标准的你中有我、我中有你的全平衡电路。经输入缓冲后接主放大模块，进行差动放大，而后再经输出缓冲到0dB输出板。

输出板是0dB结构，本身没有电压增益，主要负责电流放大。这个电路是何先生的得意之作，在阻抗匹配和温度补偿方面都有完善的考虑。

自从我见到0dB的原理图，我最关心的就是温度补偿的问题。说来惭愧，以前装机时由于温度补偿处理不当，曾经烧过管子，从那以后再装功放，我对温度补偿这一环节就特别慎重。

由于晶体管是对温度很敏感的器件，不同温度下的特性会发生明显的变化，功放的温度补偿就是一个非常重要的方面，处理不好不仅得不到好的声音表现，甚至可能会烧掉元件而造成损失。

0dB板的“官方版”

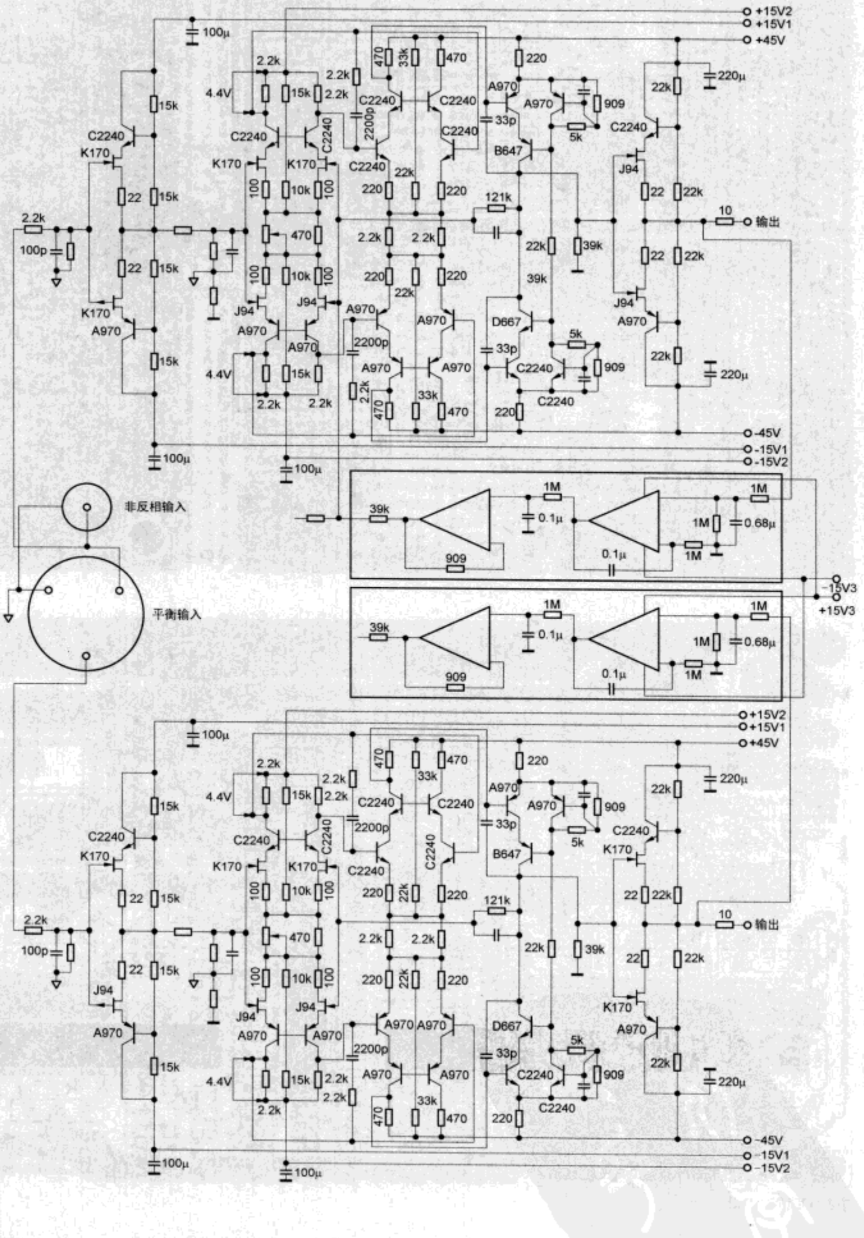
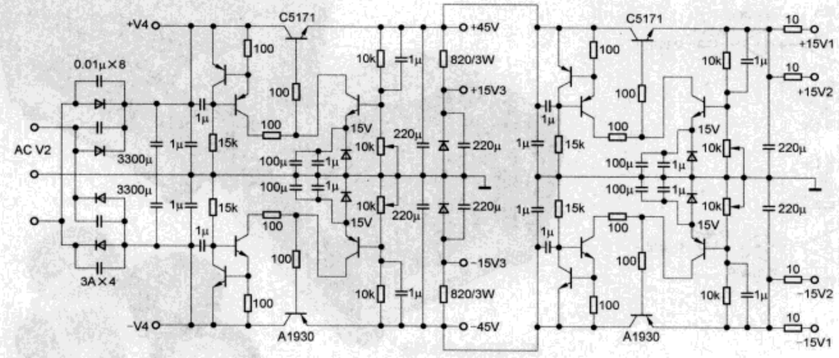
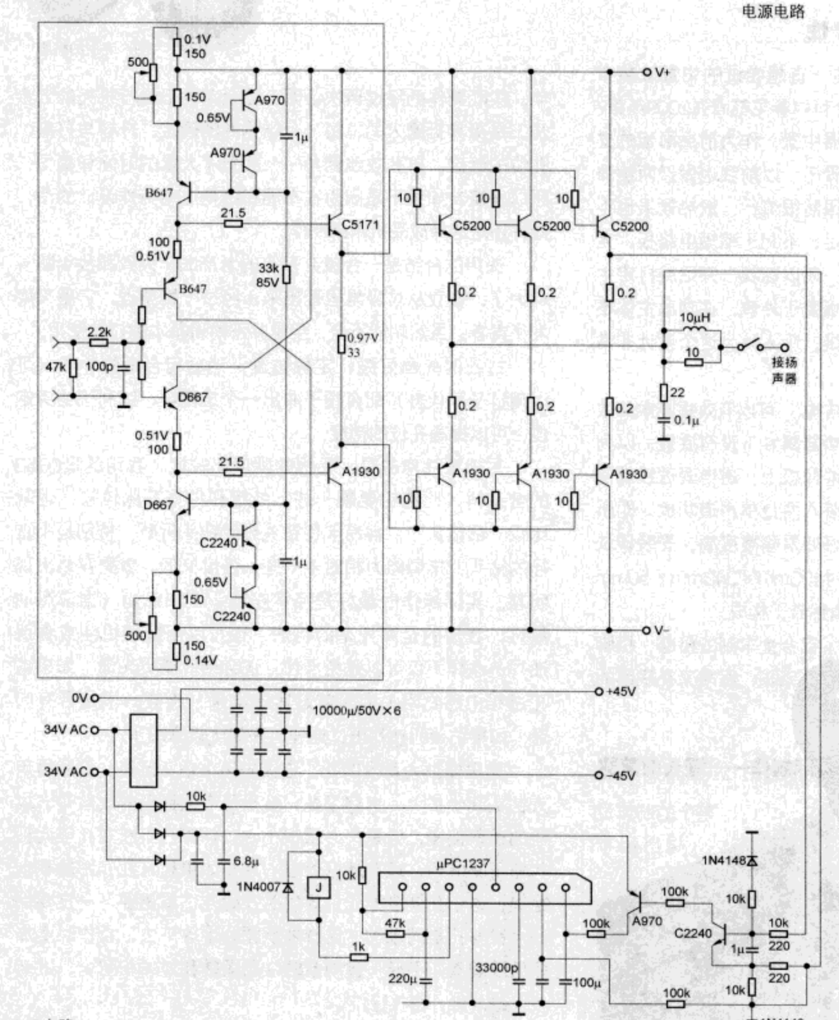


图3 SA300的主电路



电源电路



0dB电路

的补偿方式是将输入级的两管装在印制板的背面，在散热器对应位置开5.2mm直径的孔，抹硅脂后插入，以取得温度补偿效果，见图5。

SA300原设计的温补管并未紧贴于功率管上，只是装在同一散热器上，这个耦合并不紧密，补偿是滞后的，调成甲类会比较危险，至少会造成冷态与热态的静态电流相差很大。在接近乙类的状态下，由于补偿滞后，大动态时静态电流会有一个上升，大动态过后会再降下来。这样在安全的前提下更有利于声音的表现，应该是设计时有意为之了。

SA300的电源设计很有特点，0dB输出板使用的是单桥式整流，有利于获得更好的声音力度；而增益板使用了双桥式整流，有利于得到更低的噪声。

增益板的电源使用了两级稳压，高压部分供给主放大和输出缓冲，低压部分用来供给输入缓冲和直流伺服。高压稳压供电比0dB板供电电压高出约3V，有利于得到稳定的大动态输出。稳压部分全线使用了音响专用对管，这是个很先进的理念：电源是音响电路的基石，电路是电源的调制器，在电源电路中也采用音响对管，可以最大限度地在音色上取得理想效果。同时全板遍布退耦电容，可谓三步一岗、五步一哨，对于整机的稳定性和声音表现都大有益处。

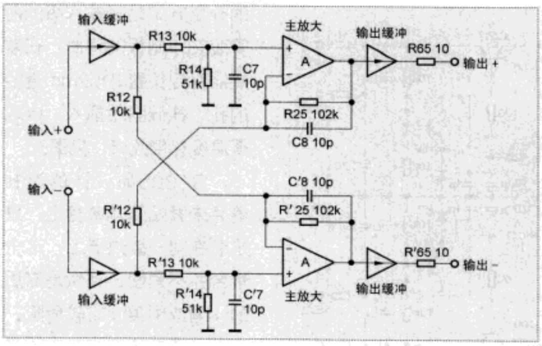


图4 增益板的主电路等效图

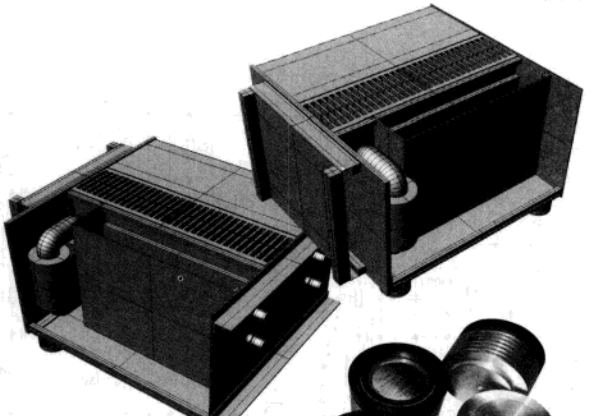


图6 整机散热布局图

图7 专制的机脚

五 整机结构设计——科学的个性

这次整机结构的设计是笔者一直想尝试的中置散热布局，见图6。 关于整机布局的选择可以参见笔者在2009年第7期的文章，在此不再重复。散热器中置，作为前后面板的支撑，与前后面板共同形成机箱的骨干。以前我也做过两侧外露散热的机器，深感后一种布局虽然很流行，散热效果也不错，但对于屏蔽上却有先天的不足，不利于缩短电路板，尤其不适合发烧友拆拆改改的工作。所以这次一开始就打定主意，要把散热器中置，这样电路板置于外侧，在功放主体不动的情况下就可以方便地进行调试。个人认为这个设计非常便于测量和调试。

中置对放的散热器形成风道结构， 可以有效提高散热效率，底板是分成两块的，中间散热器翼片下没有底板，以利于冷空气直接进入。电源前置于前面板上，连电源进线都使用了两条，等于是在一个机箱里装入两台单声道功放，即所谓的双单声道结构。这样的结构好处是隔离度高、安装调试比较方便。机箱部分的主体由一对400mm×240mm×50mm的散热器配合铝合金板、铝方、角铝若干构成。

同时为了进气顺畅，专门用了铝合金车制的机脚，机脚的高度比较大。机脚的照片见图7，后来又在底部的槽里加注了硅橡胶。

图5 安装在印制板背面的晶体管

六 实际制作——漫长的煎熬

整个的制作过程历经半年。实际制作的经过再次证明，业余条件下进行机壳的五金加工是极其折磨人的，每一个结构件的确定、开料与打磨、孔位的确定、打孔攻丝倒角……耗费了大量的时间和精力，所以发烧友如果不是因为在布局和结构上有特殊设计的话，最好还是选择成品机箱来制作。

使用的台钻是一台废弃多年的老产品，大致和我年龄一样大了，被我从垃圾堆里翻出来，经过一番整理，它重又焕发了青春。虽然功能不全，但是并不妨碍基本的打孔使用。

打孔时先画好线，定好位置，然后用合适的冲子（可以用钉子等代替）配合锤子冲出一个定位坑，以利于钻头定位，可以提高孔位的精度。

另外要注意的是：铝板的硬度比较低，我用的是6063的合金料，比纯铝要硬一些。纯铝和纯铜都比较软，也就比较“粘钻头”，容易卡住钻头导致钻头折断，特别是小直径的钻头，排屑能力相对差一些，强度又低，就更容易出现问题。实际操作时最好是经常在钻头上加点油（据说煤油最好，我用的是摩托车的机油，也可以用缝纫机油或食用油），这样不仅可以避免卡住，还会使孔壁更光滑。如果钻孔过程中感觉阻力大了就赶紧退出来，检查一下是否有问题，如果钻头断在孔里，处理起来就比较麻烦了。

如果要钻大直径的孔，应该先用小钻头定位，然后再用大钻头逐步扩大。打好了孔，就是最令人抓狂的攻丝了，攻丝的过程很慢，但是又必须很小心，丝锥一旦断在孔里比钻头断了还麻烦，通孔还好处理一点，如果是盲孔，那就基本绝望，这个孔就废掉了。攻丝时开始几下最重要，一定要保证丝锥与孔是同轴的，这样才能顺利地攻下去，操作时要加些机油润滑，不能一直向前转，要顺转和逆转相配合，进两步、退一步，稳扎稳打。

加不加均热板，我经过了一番斟酌。我的散热器是整块

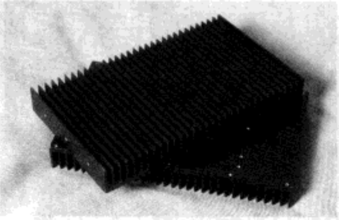


图8 散热器

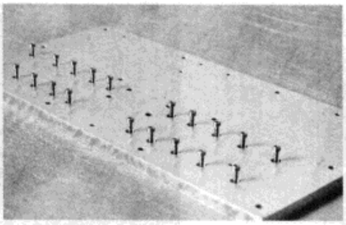


图9 均热板

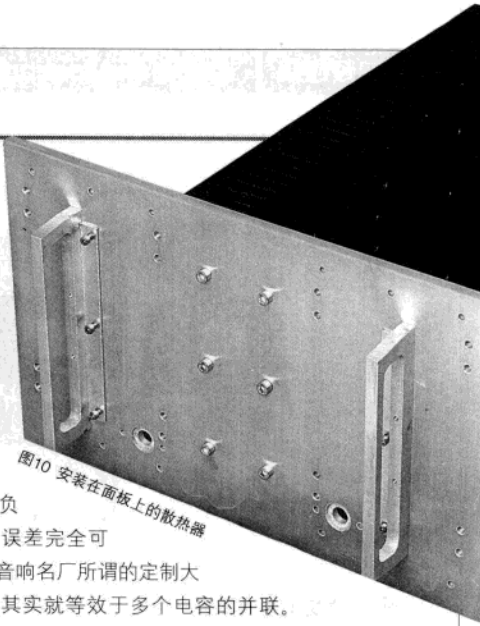


图10 安装在面板上的散热器

的，三维尺寸达到了400mm×240mm×50mm，基板厚度是10mm，单块重量达到5kg，连续耗散能力达到200W。SA300设计的静态电流并不大，单从热量耗散上来说，这个级别的散热器绰绰有余，完全不需要加均热板，散热器见图8。

在散热器上直接攻那么多孔，特别是3mm的孔有一定的危险性，因为基本上都是盲孔，对攻丝的要求很高，一旦有一个孔出现问题（以前断过丝锥，好在最后取出，花了一上午时间），那就如吃了个大苍蝇，让人郁闷到顶。要用均热板过渡一下，散热器上只要打12个固定均热板的孔，而且都是4mm的，相对就安全得多，就算出了问题也不要紧，还可以换个位置再来。均热板上的安装孔全是通孔，就算断了丝锥或出现滑丝，也很好处理，均热板见图9。

机箱的面板使用了10mm厚的铝板，底板为5mm厚，其他部位为3mm厚，各个部件的连接使用20mm×30mm×3mm的航空角铝和10mm的铝方，打孔攻丝后用4mm不锈钢内六角螺丝固定。R形变压器和散热器则使用6mm螺丝固定。面板与机箱拉手、散热器结合后见图10。

这次装机使用的螺丝均为不锈钢内六角螺丝，与普通十字螺丝相比强度较高，不易出现滑丝，而且与银色的铝合金机壳也比较搭配。

七 关于主滤波电容

我手头准备了12只12000μF/58V的化工电解电容，但心里对大电解电容一直有点抵触。因为传统的大水塘卷绕电感较大，引线方式局限了涟波电流的提高，其内阻指标和高频特性都不够理想。使用多个小容量电容并联阵列代替单个大水塘（大电解电容）电容已经成为一种趋势。多个小电容的并联大大减小了等效电感，提升了涟波电流，降低了电源的内阻，极大地改善了高频特性，动态能力和细节表现都应该会有所改善。同时多个并联还克服了元件的离散性，正、负电源的电容量误差完全可以忽略。很多音响名厂所谓的定制大水塘电容内部其实就等效于多个电容的并联。所以最终制作时选择了大电解与电容阵列的混合结构，电容阵列见图11。

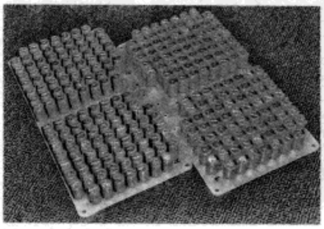


图11 电容阵列

本机输出部分每声道除了采用4只6800μF的CDE电容外，并联了由136只470μF的Philips的BC038型电容组成的阵列，每声道的总容量达到了63920μF+13600μF，足够保证在大动态输出时的电源供应。

主要缺点有3个：一是成本相对会高一点；二是焊接起来比较麻烦，一共272只，544个焊点，想起来头皮就有些发麻；三是如果个别电容出现了问题，排查起来要困难些。

电容的发货原包装上注明了容量误差为+10%~20%，即单个电容+47~94μF都属正常。预计并联后的总容量可能会与标称计算值有较大误差，老化前后也会发生明显的变化，但正、负电源的总容量应该相差极小，个人估计应该不会超过单个电容误差值，这样正、负电源的电容配对精度就非常好。如果用大电解电容而未进行老化配对，正、负电源的容量误差达到数百微法至数千微法都不奇怪，而正、负电源的容量误差太大会明显造成大动态时上、下波形不对称。测并联后的电容量，由于电容大，电容表量程只有20MF，我是将铜箔划开，分组测量的。大电容值尾数有跳动，而且电容表本身的测量精度为2%，所以小数点后的值不能保证准确，但不影响以下基本的结论。

L声道+电源：14100μF+19570μF=33670μF

L声道-电源：14550μF+19510μF=34060μF

R声道+电源：14610μF+19450μF=34060μF

R声道-电源：14070μF+19440μF=33510μF

最大误差是R声道的正、负电源之间为1.65%，我觉得这个精度已经相当高了，一般大电容配对是达不到这个精度的，这还是我随机焊接的结果。如果焊的时候就用电容表进行测量和分配的话，结果会更理想。单个电容的实测容量都比标称值略低些，老化后应该会有所增加，但总的误差应该基本保持不变。

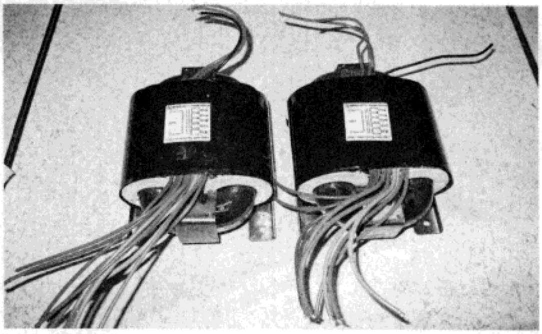


图12 R形变压器

八 电源变压器的配置

由于原机是传统的工频电源供电，为了不使音色差异过大，这次没有采用笔者喜爱的开关电源，而是忠于原设计使用传统的工频电源。

由于机箱的设计问题，采用环形变压器有一些不方便之处，而且目前市面上的环形变压器品质良莠不齐，外观上又无法分辨，要想得到电压合适、采用单条高矽钢带的全铜线环形变压器，只有订做。最后决定花多点钱，订做两只600VA的R形变压器，毕竟R形变压器的品质相对较有保证些。

R形变压器对环形变压器的缺点进行了有针对性的改良，采用连续切割的硅钢带制成截面接近圆形的磁路，降低了内阻和漏磁，温升也有明显改善，声音表现更加细腻平衡。缺点就是价格明显要高一些，大约比同级的环形变压器贵50%。本机采用了定制的600VA容量的R形变压器，考虑电网电压时常偏高，初级电压标定在240V，次级分别为双42V(供增益部分)，双32V(供输出部分)，单9V(电源指示)，均采用双绕组4抽头方式引线，便于根据情况采用单桥或双桥式整流，R形变压器实物见图12。R形变压器与电容阵列的联合使用会带来解析力和动态表现上的双重效果，但是由于高频能力得到加强，也可能造成低频相对弱化而全频不平衡的负面影响，这需要在后续的调校中根据情况进行调整。

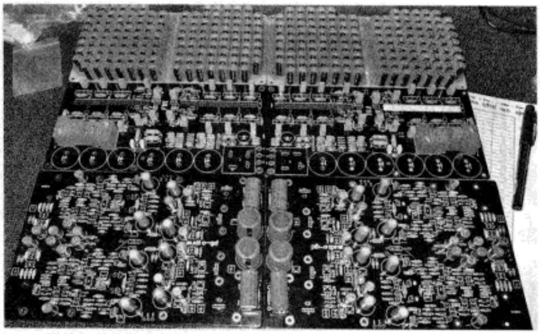


图13 焊接好的电路实物板

九 备料与装调

既然是全平衡，那么所用元件就不能再选用一般的品种。本机除了功率管射极电阻为无感陶瓷电阻外，其他所有电阻都采用了颇受好评的DALE电阻，该电阻阻值精确，热稳定性好，声音表现均衡真实；所有晶体管均为音响专用对管并精确配对，所使用的A970/C2240、B647/D667、A1930/C5171、MJE15034/MJE15035、NJW0302G/NJW0281G等均是发烧友熟知且广受好评的名管。电解电容主要采用了Philips、CDE、化工、松下音频专用等品种，无极性电容采用了WIMA、Philips、EVOX等品种。焊接使用了千住无铅含银焊锡，并动用了昂贵的白光焊台进行焊接。

焊接好的电路板见图13。焊接时所有元件的引脚均折弯后焊接，这样可以增加接触面积，提高可靠性，很多国外电子产品都采用了这种方法，缺点是拆下来时就比较费事，所以在元件上板前一定要经过测试，确保品质无忧，焊接时更要反复对照，避免出错。基本完成的增益板和0dB输出板见图14与图15。

0dB 板是镜像对称的，而增益板则是一个版式，但输入与输出接口的位置设计很巧妙，用起来与镜像对称一样方便。

安装0dB板的难度比较大，主要是由于功率管为双排安装，而且温度补偿管是反装插入均热板的，对孔位的精度要

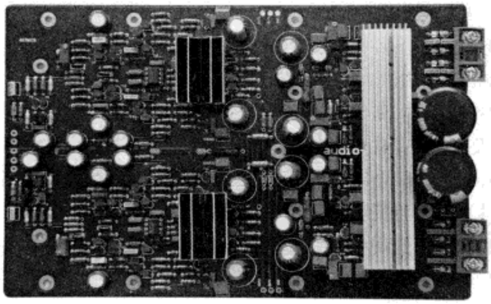


图14 增益板

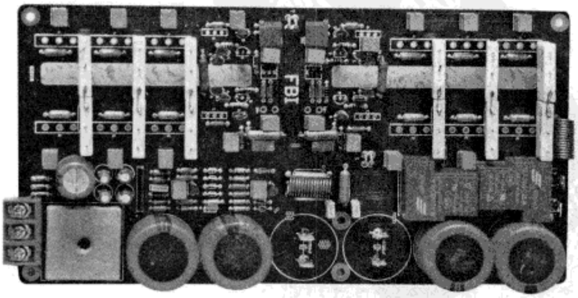


图15 0dB输出板

求非常高。安装完成的0dB板见图16。

增益板安装在0dB输出板上方的支架上，由一块“匚”形铝板支撑，增益板的固定螺丝很多，共15颗，均通过10mm的M3铜柱进行固定，安装完成见图17。

通电试机时我战战兢兢，生怕它出现意外的故障，使我的心血毁于瞬间。还好一切顺利，保护继电器顺利吸合，所有测试一切正常。由于输出板与增益板是分体的，给调试带来了方便。调整0dB输出板时要先将其输入短路，以免感应干扰造成不稳定。调整方法很简单：分别调整上下臂的多圈电位器，使末级管的静态电流约为50mA(对应0.2Ω射极电阻上压降为10mV)，并使输出的直流电压尽量为0V就可以了。增益板要先调整稳压电源部分，使输出电压分别为双45V和双15V，而后调整输入级的静态电流为2mA(对应原理图上2.2kΩ电阻上的压降为4.4V)即可，然后就可以进行最后的连线总装，总装见图18。

由于整机的结构设计合理，自变压器次级输出之后，所有的电源和信号连接线长度均不超过15cm，这是非常难得的，不仅减小了感应干扰的机会，而且使连接线对音色的影响降到最低。机内所有引线均使用了特弗龙的镀银线，效果是有保证的。所有的连线除非必要，均使用了压接方式配合快捷插头来连接，这是不少厂机采用的连接方式，更便于拆

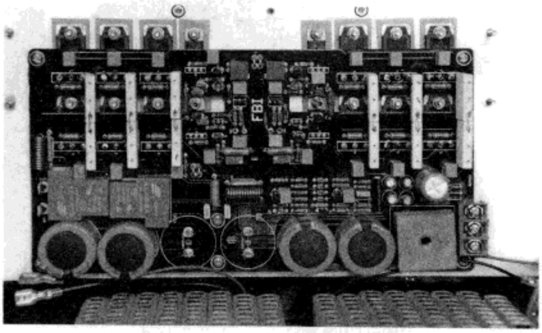


图16 安装完成的0dB板

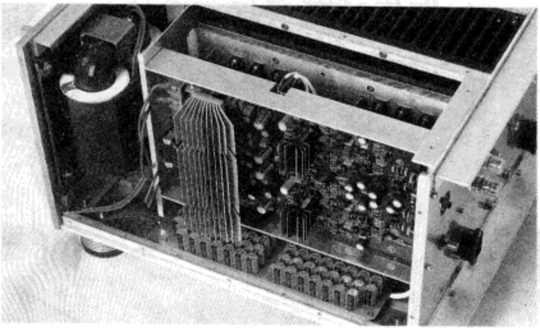


图17 安装好电路板的功放

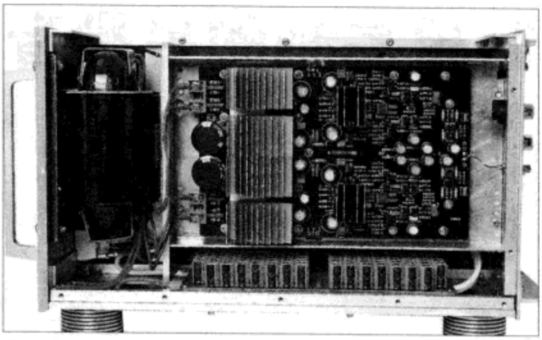


图18 总装后的功放

装与调试。

试机中发现增益板稳压电源部分的发热比较大，虽然没有什么问题，但本着精益求精的原则，又对散热部分进行了一次强化，更换了更大的散热片，提高了系统的稳定性。同时对侧板和顶板的设计进行了一点调整：在侧板、底部和顶板上对应热量比较大的地方加开了散热孔（原先是打算做成全密封的）。由于采用了传统变压器，而且使用了重型散热器和大量的铝合金来制作机壳，最后的整机重量接近40kg，这是一款名符其实的重量级功放。为了移动方便，面板上加装了坚固的铝合金拉手，同时在背板上加装了两条角铝，使整机面板朝上直立时不会损伤到背板上的接插件。整机外尺寸约为400mm×290mm×500mm（W×H×D）。

整机的信噪比非常优秀，在输入端空置时，扬声器里居然听不到一点噪声，会让人误以为没有开机。看来SA300的电路设计确实有过人之处。R形变压器名不虚传，不仅没有什么温升，而且听不到振动噪声。笔者原先担心的交流进线与电容阵列距离较近而产生的感应噪声也没有出现。由于是新机，还没有经过足够的老化，声音还不稳定，但就目前的表现而言，无论是细节表现、动态能力、还是全频的平衡度，都已经远远超过了笔者之前所制作的任何一款功放。随着煲机时间的延长，它的声音还会越来越好。

十 最后的感言——发烧无止境

SA300制作的前前后后，经历时间之长，花费精力之多，都是我始料未及的。待到它终于初试歌喉，我已经身心俱疲。成功之后的喜悦意外地平淡，或许是因为早就知道它不会让我失望吧。回想以前制作的多款功放电路，都受限于电路本身的设置，不得不在阻抗匹配、线性表现等方面做出这样那样的妥协，再加上元件选择上的成本制约，最终的声音表现也就受到了一些限制。这次经过SA300的制作，真切地体会到那些优秀的复杂电路并非是故弄玄虚，而是为了追求更好而不得不付出的代价。

简单易制的另类音箱

◎张全定

图1

近日偶得一对扬声器单元，该单元是由德国原装奔驰小轿车拆下的，口径为 6.5 英寸，频响为 60Hz~15kHz，属全频车用扬声器，阻抗为 4Ω，功率为 20W。单从指标上看，该单元素质还算不错。一般来讲，国外的汽车档次和音响档次是相辅相乘的。奔驰车虽算不上最高档次，但也可算中上水平吧，因而其扬声器单元也差不到哪儿去。该单元是为奔驰车度身定做的，做工比较精细，其外形比较特殊（见图 1）。正巧家里有一节剩余的直径为 160mm 的 PVC 下水管，无意中将扬声器放在管头上比划了一下，简直喜出望外，PVC 管的内径为 150mm，而该扬声器的固定塑料环外径恰好也是 150mm，刚好将扬声器紧密的镶在 PVC 管内，一个用 PVC 管制作音箱的方案由此而定。立即由建材门市部购来 160mm PVC 管 2m，三通管两个，堵头两个，U-PVC 硬塑专用胶一小桶，30mm×30mm 地板砖两块。具体制作步骤：①把三通的一个直通孔用堵头涂上硬塑胶将其堵住（见图 2）。②将 PVC 管截两个 40 mm 的圆环，涂上胶镶入三通中间孔，使孔壁加厚，以便安装扬声器单元（见图 3）。③在三通的中间孔的背面装两个接线柱并焊上连线（见图4），由中间孔引出备用。④将余下的 PVC 管截成均等的两节，涂胶和三通连接。⑤装入吸音材料，将金属条钻孔并弯成 90°，将音箱固定在地板砖上。⑥将连线焊在扬声器上，再将扬声器固定在三通上（见图 5）。固定可以用硬塑胶，但笔者考虑以后要维修，所以用 4 枚 Φ4 mm 自攻螺丝固定。中间孔壁厚已达 10mm，用自攻螺丝没问题。这样，一对别开生面的音箱便大功告成（完成后的效果见图 6）。

性能：由于扬声器单元是全频的，这就取消了使声音劣化的罪魁祸首——分频器，因而也就不存在相位失真和交

图3

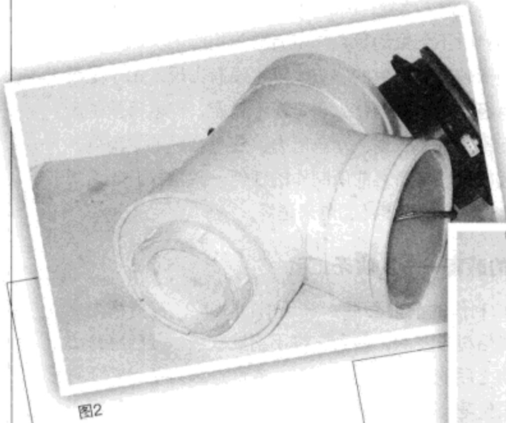


图2

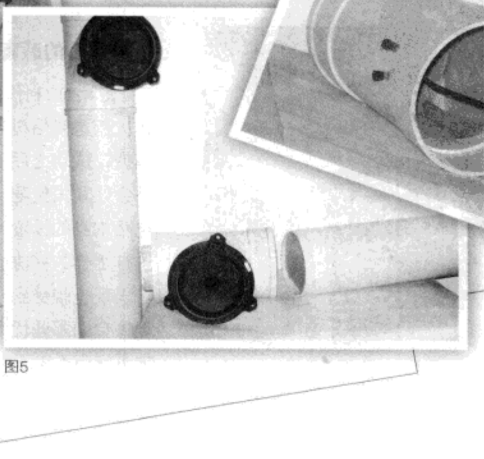


图5

图4

越失真，声音听起来十分干净利落，绝无拖泥带水之感。箱体的形状是圆柱体，从物理特性讲，同样的材料，做成圆柱体其强度要比其他任何形状都要高许多，这就减轻或杜绝了箱体的共振，从几何学角度讲，用同样的材料，做成圆柱体其容积要比其他任何形状都大，这对低音的向下延伸极为有利。从声学原理讲，圆柱体由于没有边角，对消除箱内驻波有着非常好的作用，大大减少了箱内声音反射引起的有害声染。以上三点足以使音箱的解析力以及瞬态得到大大提高，使全频扬声器的诸多优点也得到充分的发挥。另外，该音箱造型奇特，箱高120cm，箱体洁白，好像一位身体修长、亭亭玉立的少女站在那儿歌唱，实属一对另类艺术品。说它另类，是因为这样的音箱商店没有出售，社会上也很难见到，纯属DIY专利。

把玩及听音：笔者在15m^{2}卧室将这对音箱和自己的6P14单端胆机组合，用MP3机做音源，其声音甜润厚美，特别是听弦乐及人声，虽不能和CD机相提并论，却也足以使人听得如痴如醉。用在电脑上听音乐，使人再也不想听原来电脑自配的有源音箱了，只是电脑的声卡一定要好一点，否则将不能充分发挥这一组合的潜能。笔者也曾将卧室电视机的伴音信号取出与其相连，欣赏央视音乐台及11频道节目，其效果和原电视机放音系统相比，简直连跳三级。最后将这对音箱搬到客厅，和笔者的300B单端胆机组合，与客厅的10英寸+6.5英寸+1英寸的三分频大型落地箱做AB试听，当然两对音

图6

箱不在一个档次上，但辩证地看，寸有所长，尺有所短，这对音箱除在高低频的延伸、动态以及声压等指标不及大型音箱外，其甜美的中频，特别是解析力更胜一筹。区区数十元的造价，性价比就不必多说了。这对箱体还可以安装其他6.5英寸全频扬声器单元，可惜笔者手头暂时没有，待购到后再做实验，如有新的收获，定向广大发烧友汇报。

全手工打造 2.1多媒体功放

◎江海洋

市面上的多媒体功放种类很多，但都不合意，所以萌生了自己DIY一个2.1功放的念头。

首先确定功放需要什么功能，一般的2.1多媒体功放只有一组输入，笔者有2套电脑，为了切换音源经常要将输入线换来换去，所以功能中要有多组输入选择，还需要一个低音炮扬声器相位切换开关，这样就可以在功放上对自制的重低音音箱进行相位切换和调试。还要加入高、低音调节电路，可根据不同的听音环境和音乐风格进行调节。功放的面板上需要话筒输入插孔和耳机输出插孔，可方便语音聊天和夜晚听音。此外，在电路输出到耳机插座的信号切换采用继电器控制，功放断电后音频信号直接切换到耳机输出,这样使用就更加方便。确定了以上几点需求，就可以动工咯！

一 功放电路的选择

由于家用多媒体音响不需要很大的功率，也就不考虑用LM3886等芯片。手上正好有几片LM1875，于是选定了如图1所示的电路。这是典型的电压负反馈电路，根据设计思路，我将电路做了修改，如图2所示。第一，取消该电路中的IC反向输入端的电解电容C2，取消电容C2之后，并且使放大电路改为电流负反馈电路，采用电流负反馈电路（也称为恒流激励）可以使功放的输出特性与负载成正比变化。原电路的C2电容随反馈信号不同的频率出现不同的容抗，因而使功放的反馈量随频率发生改变，同时也使功放失真加大。特别是中、高频段，由于相位随频率的改变，就会有比较朦胧的表现。由于LM1875的失调电压很低，仅为2μV，取消电容C2之后，中点电压会有点偏差，但是在元件选择正常的情况下，中点偏移是很小的，在可接受的范围内。取消该电容后，使电路直流化，能够直接优化音色。原本考虑加入中点伺服电路，但是该电路的积分电容使用不当会同样影响音色的表现。完工后实测中点完全在安全范围之内。第二，在反相输入端的22kΩ的电阻上并联30pF的小电容C1，作超前补偿。在正、负电源之间并联电容C9，容值为0.1μF，这样最大限度减小电源对电路的干扰。第三，在正、负输出端之间并联电阻R3（220Ω/2W），以防止扬声器端空载时LM1875自激。第四，在负输出端与地之间串接电阻R6，使流经扬声器线圈的电流经过R6对地，在其两端产生的取样反馈电压与电流成正比，R6上形成的电压经由R2到LM1875反馈输入端，形成电流反馈，使LM1875输出阻抗增加，R2的取值和R1A接近，从而使得正、负输入端偏置平衡。该电路特性是：扬声器阻抗大时，反馈电压就变小，放大器增益就增大，输出电压就变大。由此可见，功放的输出电压随负载阻抗增大而增大。这个特性和电子管功放电路一样，所以该电路具有电子管的韵味。经过试听，该电阻最后用0.33Ω/5W的无感电阻取代。

二 元件的选择

IC功放的性能音色表现取决于外围电路的元件和电源。IC选用马来西亚产正宗LM1875。本功放所有小体积电解电容采用ELNA，整流采用配对的RU系列二极管。滤波电容采用3300μF＋6800μF，并在这两个电容上并联0.1μF聚丙烯电容。供电采用一个120W的EI型变压器双18V供电，曾经尝试过16V、18V、22V电压，22V发热大，16V低频偏软、散，最后选用双18V交流供电。散热器位于变压器和电路板之间，可以起到良好的屏蔽效果，机壳上、下钻对称孔，利用空气对流散发热量，整机布局见图3。

三 机壳的制作

既然是DIY，就尽量利用闲

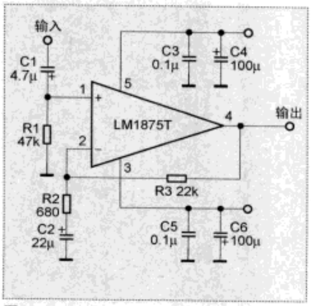


图1

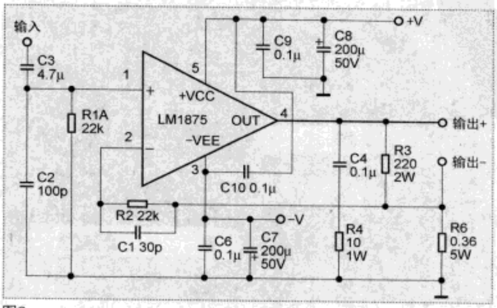


图2

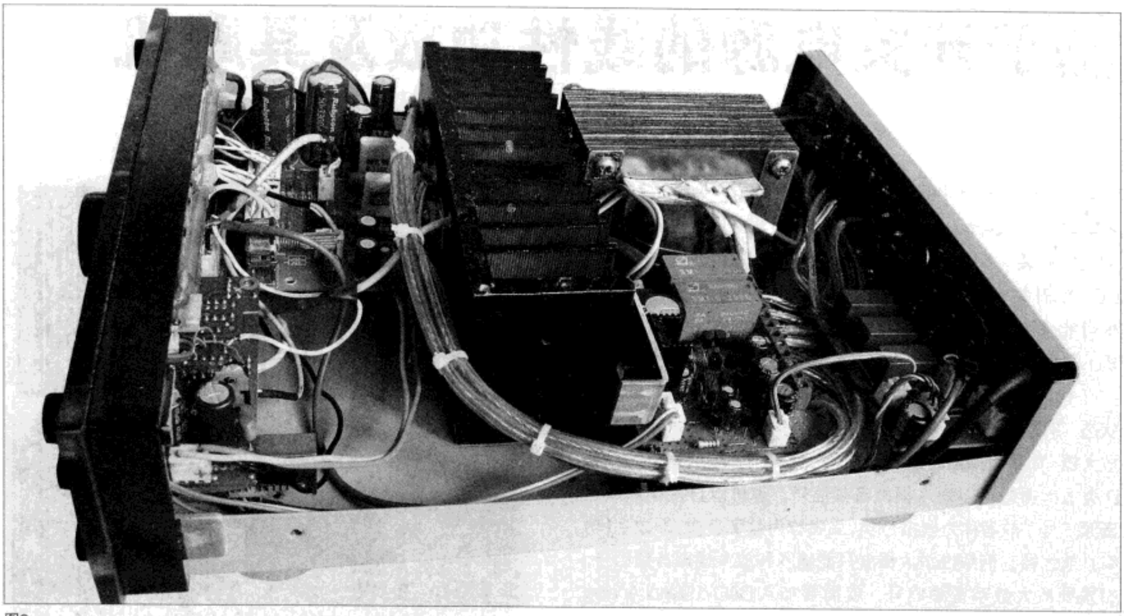


图3

置品。手上正好有一台淘汰的小VCD机，其外壳可以利用起来。背面正好有3组RCA的莲花插座孔、一个视频RCA莲花输出插座孔和一个电源输入孔。根据需要，打算增加3组扬声器输出和一个低音炮扬声器的相位控制开关，一个保险座。而原先的一个视频输出插座正好作为话筒信号输出。先按增加的各部件的尺寸画好线，用手电钻和小钻头靠线内钻孔(先用尖头冲子敲个凹痕，这样再钻不容易钻偏)，然后用平冲子冲掉内空线内的多余铁板，再用锉刀修整好尺寸后将背板各部件安装。本机设计有3组RCA信号输入座子和一个话筒输出RCA座子，再装上保险座、相位切换开关及电源座。将上盖板对着散热器叉孔的地方钻M5孔，有利散热，然后喷黑色漆。

面板的处理比较考究。先在面板和机箱的连接处，用手锯锯掉面板多余的部分，再切割一块和原机面板内空合适大小的覆铜板和一块略大于原机面板尺寸的有机玻璃，将两块面板材料修整合适，重叠在一起，边角上钻安装孔后用螺丝将两块材料上紧固定。计算好旋钮的布局位置，用 Φ0.5 小钻头钻出两块板子对应的中心孔，松开 4 个角的固定螺丝，按选用的各旋钮和开关的安装孔大小，将覆铜板相应的位置开孔。再用圆规在有机玻璃上相应安装的位置画出旋钮大小的图(直径略大于旋钮)，再画一个更大点的圆，圆周等分位置用小钻头钻出有机玻璃三分之一深的沉孔作为刻度指示用。将有机玻璃旋钮孔用钻头和半圆锉掏出来。在靠安装覆铜板一面喷上黑漆，这样从正面看去就是黑色面板，并且漆面不会被刮花。将覆铜板一面用香烟的锡箔纸粘贴。用AB 胶将覆铜板粘接在原面板上，铜箔面向机箱内部(安装旋钮后起到屏蔽的作用)。有锡箔纸一面向面板正面。覆铜板和面板前边要留出安装电位器的螺帽距离，然后安装电位器和开关。空余的地方购买几个小的散光 LED 装在覆铜板和有机玻璃的间歇处，装上有机玻璃面板和旋钮。

四 扬声器保护电路的制作

制作扬声器保护电路板，采用洞洞板搭棚焊接。

由于本机有3组信号输入座子，所以采用一块洞洞板制作了一块3路继电器音源切换和断电直通耳机插座的电路。继电器选用12V直流小型的，在每个线圈绕组并联一个1N4007二极管。输入输出线均采用屏蔽线。

完工后，整机面板的有机玻璃衬托出镜面效果，在环境灯光较暗的时候，面板几个微弱的指示灯效果很是漂亮。推动一对索尼5英寸扬声器和法国阿尔派球顶高音DIY的桌面音箱和双SS6.5惠威扬声器DIY的低音炮，试听曲目用《蔡琴老歌》，安妮-索菲·穆特尔的小提琴和鼓声，交响乐等。整体试听量感十足，低频下潜深、音色细腻饱满，人声柔和。该2.1功放总花费不到200元。不论是动态范围还是听感都大大超出预期效果，比市售大多数的2.1功放效果都好！

基于开关电源的线性功放及其摩机

◎吴红奎

这是一块出自平板电视的功放电路板，双面印制板，SMD（Surfacd Mounting Device，表面贴装元件）与插脚元件混装，板型小巧，最令笔者动心是它的供电方式，用DC-DC开关电源搭配线性功放的设计并不多见。这块功放板可能来源于Pvision（匹维仁）公司出品的30英寸液晶电视机，具体型号应该是LT30C，电路板实物如图1所示。

构成音频功率放大器输出级的有源器件如果工作于放大状态，不管它们是处于A类、AB类……都称之为线性（功率）放大器。如果有源器件工作于开关状态，则称之为D类放大器。D类放大器既可以输入模拟音频信号，也可以直接输入数字音频信号。前者称为模拟D类，后者称为数字D类，即数字(功率）放大器。而线性放大器就只能输入和放大模拟音频信号，如果要放大数字音频信号，就需要加入DAC（Digital Analog Converter，模数转换器）进行数字→模拟转换。当然，模拟D类和数字D类的电路构架也是不同的，也并不能相互替代。所谓有源器件既可以是电子管也可以是晶体管，目前实用的晶体管器件包括BJT（Bipolar Junction Transistor，双极性晶体管）、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor，绝缘栅双极晶体管）、VMOS（Vertical Metal Oxide Semiconductor，垂直沟道栅功率场效应管）。在线性功率放大器中，BJT是主流，在D类中，VMOS是主流。就目前而言，如果没有特别说明，VMOS一般指的是增强型绝缘栅的VMOS，常见的HEXFET（IR的专利，下同）、TMOS（Motorola）、QFET（Fairchild）、HiPerFET和MegaMOS（IXYS）、SIPMOS（Siemens）、TrenchMOS（Philips、Vishay）、DMOS（ST）、Power MOS（APT）等，它们其实都只是专利名称不同而已。随着VMOS的发展，它在线性功放中的应用也越来越多，SIT（Static Induction Transistor，静电感应晶体管）被认为是比VMOS更有潜力的新型功率MOSFET（Metallic Oxide Semiconductor Field Effect Transistor，金属—氧化物—半导体场效应晶体管，简称场效应管）。而另一类场效应管：JFET（Junction gate Field-Effect Transistor，结型场效应晶体管）则主要用于小信号放大电路，如前置放大器、缓冲放大器等。

功率放大器的另一个重要组成部分是电源，铁芯工频变压器+整流二极管+滤波电容构成的电源一般称为线性电源，它是目前功放电源中的主流，如果加上串联或者并联稳压电路，则称为线性稳压电源。线性电源的优点是成本低，电路简单，不足之处是体积和重量比较大，稳压效率低，音频放大器也容易受到低频交流“哼”声的干扰。将铁芯工频变压器换成磁芯高频变压器，加上工作于开关状态的有源器件和高频整流滤波电路，就是开关电源，即SMPS（Switch Mode Power Supplies）或者AC-DC开关电源。线性电源只有一次整流滤波，电能变换过程是：交流→交流→直流，因此也称为一次整流电源，而SMPS的变换过程是：交流→直流→高频交流→高频交流→直流，所以也称为二次整流电源，二者都是以“交流→交流”变换过程来实现电压变换以及市电与用电负载的隔离，所不同的是，工频电源是工频（50Hz或60Hz）变换，而SMPS是高频（1kHz或者10kHz以上）变化。除了上述有源器件，还可以采用晶闸管器件。还有一类开关电源是DC-DC开关电源，也叫直流变换型开关电源，典型特征是输入电源是直流，只有“直流－交流－交流－直流”变换过程，输入电源可以与负载隔离也可以不隔离，不隔离的比较常见。开关电源无论是否稳压都对效率的影响不大，其优点是重量轻、体积小（小功率和大功率的时候不太明显）、稳压的效率高，音频放大器一般不会受到低频交流“哼”声的干扰，但是会有高频干扰的问题，不足之处还有成本高、电路复杂等。常见的开关电源是用电感（对AC-DC或者隔离型的DC-DC而言是变压器的初级、次级）为储能元件，DC-DC开关电源中还有一类用电容作为储能元件的，称为电荷泵（开关电源），其优点是体积更小、储能元件能够集成、高

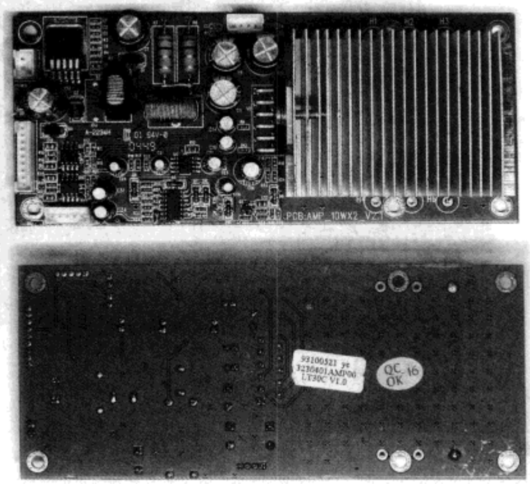


图1 基于开关电源的线性功放电路组件

频干扰小，不足之处是不能隔离，受目前技术所限，功率还做不大。

开关电源是否适合于晶体管音频功放，一直都是一个见仁见智的话题，直到目前也还是否定的观点占上风，主要的依据是可能会有高频干扰，而电子管放大器中使用开关电源的则非常罕见，同时设计合理的线性电源，交流“哼”声也完全可以克服，即使是电子管放大器也是如此。不过对于D类放大器而言，其开关频率一般比开关电源还高，而且从电源的观点来看，D类放大器也可以视作是输出电压受输入信号调制的开关电源，更为重要的是，要兼顾多声道、大功率、轻薄短小的要求，仅有D类也是不够的，还必须有开关电源搭配才行。

实际上，从低端到高端的成品中，线性功放采用开关电源的成功例子也并不少见，在高端产品中，英国的Linn（非官方中文名称：莲）所生产的放大器，从功放到前置无不以开关电源为主。以笔者观点来看，开关电源没有成为音频功放的主流，除了可能有高频干扰以外，成本也应该是很重要的因素之一，就像克服线性电源的交流“哼”声一样，开关电源的高频干扰问题也并非是不治之症，而功率、性能不相上下的电源，开关电源的成本可不是比工频电源高一点，尤其是当稳压不是必须的时候更是如此，而且功率越大，高得越多，除非开关电源能够大量标准化生产，而且是必须要稳压的应用领域，就像PC电源那样，要用线性电源的话，才有可能使成本更高。另外，为了减少可能的高频干扰，当然也有体积的因素在里面，采用开关电源的电路板倾向于采用双面印制板，即使是采用外围电路非常简单的集成电路也是如此，四层乃至更多层也是有的，这也增加了成本并且提高了生产门槛，而贴片元件的广泛采用也增加了业余条件下的制作、摩机的难度。在供电电压比较低的场合采用开关电源还有一个优点，那就是能够最大限度的保证功放的输出功率，因为开关电源是稳压的，功放几乎不受电源电压波动的影响。对业余爱好者而言，采用开关电源还比较容易获得优秀的静态指标，因为令人头疼的交流“哼”声问题迎刃而解了。DC-DC 开关电源看起来还更安全，不用担心有触电的危险。

为了便于分析，将图1所示的电路组件分成DC-DC开关电源、输入缓冲与功率放大、开关机噪声抑制与控制几部分，逐一说明之。

一 DC-DC开关电源

DC-DC开关电源以GM7230为核心，该芯片是降压拓扑的单片开关稳压IC，中国台湾GAMMA Microelectronics（微微电子）的产品，GAMMA现在是中国台湾APM（American Power Management Inc.，安源科技有限公司）旗下的子公司。GM7230有TO-220-5（型号字母后缀：TB5，下同）、TO-220B-5B（TB5B）、TO-263-5（TA5）三种封装形式，内部等效电路参见图2，主要技术特征如下：

◆ 固定开关频率（150kHz），频率偏差±10%。

◆ 输出电压有固定、可调两种版本，固定输出为3.3V、5V、12V，可调输出的电压范围1.23～37V，输出电压稳定精度优于±4%，典型值±2%。

◆ 最大输入电压40V，输入/输出端之间的最大标称压降1.5V。

◆ 有待机控制端子，待机模式下的电流消耗不大于200μA，典型值80μA。

◆ 集成过流、过热保护功能，逐周期电流保护方式。

◆ 输出电压固定的GM7230版本只需要4个外部元件，输出电压可调版本则需要至少6个。一些新型产品将肖特基二极管也集成了，需要的外部元件就更少了，不过电感的集成仍然是个难题，尽管已经有制造商宣称已经开发成功了集成电感的DC-DC开关电源IC，如美国Micrel（迈克尔）公司的MIC38300，这在技术上可能问题不大，但是至少在成本、功率方面还是会有所限制。

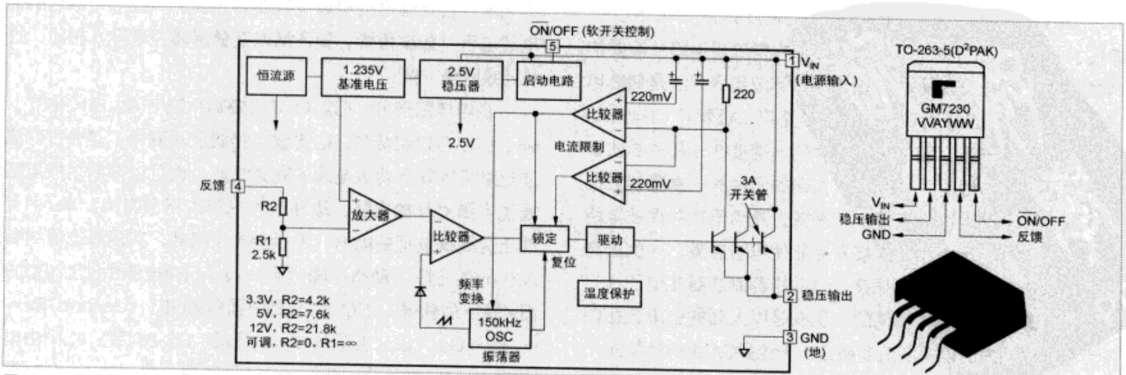


图2 GM7230的内部等效电路与引脚定义及其实物外形

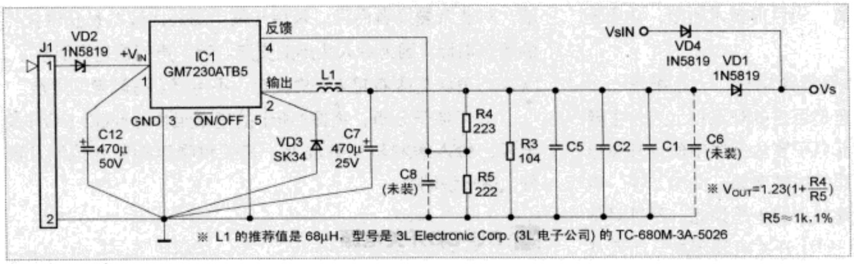


图3 LT30C板的DC－DC电源电路原理图

◆内部集成3A的BJT，能输出2A的电流，可调版本3V输出时的效率典型值为88%，固定输出3.3V版本的典型值是73%，12V版本是88%。开关电源的一个敏感话题是效率，DC-DC也不例外。经典的MC34063在降压模式下的典型效率是80%，一些新型的产品，典型效率已经可以达到90%～95%，封装也更为纤小。如果电感没有被集成，仅仅使IC本身更为纤小是不够的，还要尽量减小印制板的占板面积，提高开关频率是比较有效方法，这同时也可以使用容量更小、体积也就更小的退耦与滤波电容，有些产品已经将开关频率提高到了1MHz乃至更高，如Linear（Linear Technology Corporation，凌特）的某些产品，开关频率达到了2.2MHz，这时采用VMOS作为功率开关就成了不二之选。

◆ 工作温度范围：－40℃ ～ ＋125℃。

为了降低可能的高频干扰和高频纹波，在标准应用电路的基础上，可以在输出回路中串接1级LC滤波电路，更多级则效果不明显；另一种方法是串接一级LDO（Low Drop Out regulator，低压差线性稳压器），相比LC滤波电路，功耗略高（电压越高越明显），但是纹波抑制性能更为优秀，有些新型的产品已经在内部集成了LDO并且有外部连接端子，这样用户可以选择是否加接LDO；第三种方法是采用多相开关技术，因为采用多个功率开关，成本也高，在低压大电流应用领域能够有效降低高频纹波。

图3所示的是LT30C板的实际电路原理图，其中L1、C12、VD3、C7、R4、R5是GM7230典型应用电路所需要的外围元件，C12、C7是输入/输出端的滤波电容，L1是储能电感，VD3是续流二极管（相当于高频整流二极管），R4、R5用来设定输出电压，图中多个元件的一端接在一起的画法表示在进行元件布线时，这些有公共端的元件的一端要就近接在一起，用所谓的“一点接地”来减少高频干扰并保证电路工作的稳定性，因为不当连接有可能使电路自激，产生更高频率（数倍于150kHz）的振荡。L1的推荐制造商3L电子（三礼电子）原本也是中国台湾的，现在是以大陆的中山三礼电子为主，对国内的设备制造商而言，无论是GAMMA还是3L，均不算陌生，两者的IC产品在中低端产品中的应用都算是比较广泛的。

R3是假负载电阻，有利于提高空载时输出电压的稳定性，C5、C2、C1为贴片陶瓷电容，有利于降低输出高频纹波，这些元件有助于提高电路性能。J1是印制板上的引线插座，三角形标志表示1脚，VD2是隔离二极管，如果不是为了减少元件表中的型号数量，普通二极管即可，如1N5400系列， VD1、VD4同样是隔离二极管，是为了与另外一组可选的电源输入（VsIN）相互隔离。

三 输入缓冲与功率放大

除了输入缓冲与功率放大，图4还显示了独立的耳机放大电路和供电电路。模拟音频信号从J3的1、3脚输入，一路送入IC3（TDA1308）的2、6脚进行缓冲放大，从1、7脚输出送入IC2（TDA7269A）的7、11脚进行功率放大，从2、4脚输出，经C9、C10隔断直流后经J1送入扬声器发声。从J3的1、3脚输入模拟音频信号也同时送入IC5（TDA1308）的2、6脚，从1、7脚输出经J4驱动耳机。IC2采用单电源供电， OTL（Output Transformer Less，无输出变压器）放大方式，其输出端2、4脚的电位是电源电压的一半，隔直流耦合电容C9、C10是必须的。R1、C3以及R2、C4分别组成了两个声道的消振电路（茹贝尔电路)。R19、R18及其R24、R23分别是两个声道的反馈环路电阻，C26则是交流旁路电容，为内部推动级电路提供直流偏置电压同时给反馈信号提供交流通路。C14、C16与C15、C18都是音频通路的耦合电容。IC3、IC5均为比较放大器，R11、R10决定了环路放大能力，C17为高频补偿电容（减小高频的放大量），R10同时也决定了放大器的输入阻抗，其余通道与此相同。耦合音频信号，无极性的电解电容比普通的电解电容要好一些，不过与无极性的非电解电容（如聚丙烯、聚乙烯以及叠层陶瓷电容）相比，性能还是略差一些。

供电电路部分，IC2（TDA7269A）的电源V_p由V_s经R7、R8、L2、C11组成的LRC滤波电路滤波后获得，这个LRC滤波电路可以降低功放电源的高频纹波，也可以抑制功放电路通过电源对耳放电路、缓冲放大电路的不良影响，串入R有助于提高纹波抑制能力，但是会产生损耗，实测静态时约有200mV的压降，动态压降达到1～2V；5V电源由UTC78L05将V_s降压后获得，UTC78L05是中国台湾UTC（Unisonic Technologies Co., Ltd.，友顺科技）的产品，SO-8封装；V_{ref}则由电阻R16、R17简单分压获得。C22是退耦电容，C21、C24是

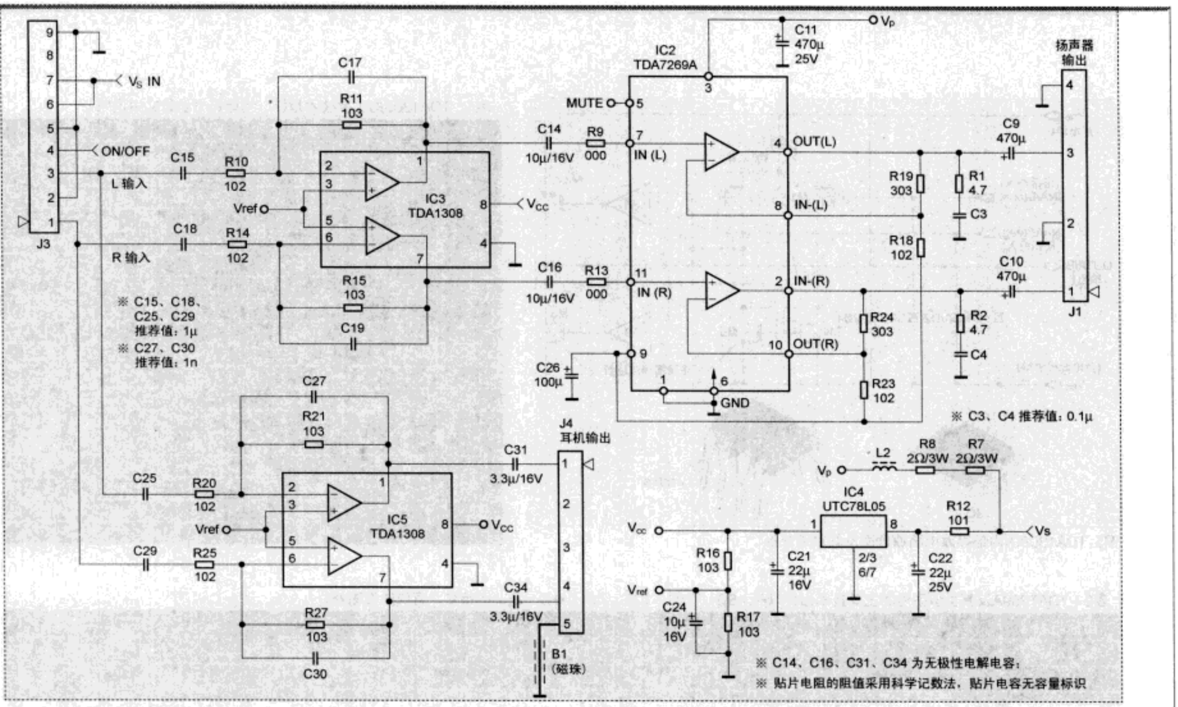


图4 输入缓冲与功率放大部分电路原理图

滤波电容，C21兼作V_{ref}的退耦电容，C24兼作IC3、IC5的正相输入端的退耦电容。

1. 经典的耳放集成电路TDA1308

TDA1308与我们所熟悉的TDA2822M、CXA1622相比，上市时间略微晚一些，大约是1994年，但是TDA1308是Philips（飞利浦）公司按照Hi-Fi理念设计的，目标市场是当时刚刚崭露头角的便携数字音频设备，如CD随声听、Sony的MD（MiniDisc，微型磁光盘，1992年面市）随身听等。因此TDA1308的主要技术指标，PSRR（Power Supply Rejection Ratio，电源纹波抑制比）、SNR（Signal Noise Ratio,信噪比）、THD（Total Harmonic Distortion，总谐波失真）、SR（Slew Rate，转换速率）等，以今天的眼光来看也仍然可以算是达到了Hi-Fi水准（参见表1）。在电路结构上（参见图5），TDA1308采用差分输入，全平衡放大，互补输出，而且输入/输出级均为绝缘栅型场效应管，这能给爱好者带来所谓的“胆味”体验，即类似电子管的音色。很长一段时间内，TDA1308并不常见，因为有着傲人技术指标，必然就会损失一些性价比，同时与比运放略大的功率输出能力使它也只适合于耳放，在一般音频设备上也就很少被采用。时至今日，TDA1308的新品价格已经到了1元人民币以下，并不比NE5532更为昂贵，当然，它可能已经不是Philips原产的了或者已经不是按照当时的标准生产的了，即使如此，无论是作为低阻抗耳机的耳放还是低压供电系统的线路放大，TDA1308都还值得一试，尤其是用电池供电的耳放，4节电池串联，以双电源形式供电，即两节电池为正电源，两节电池为负电源，用两块闲置的手机电池也是可以的（保险起见，可以分别串联一个二极管），效果应该毫不逊色于如今流行的基于电荷泵技术的无输出电容的耳放，如4411之类（MAX4411、TPA4411等）。

另外，TDA1308与标准双运放的引脚是兼容的，如果把它当作运放来看的话，其最大输出电压摆幅（V_O）已经接近我们今天常说的轨至轨输出标准，即略低于电源电压的输出电压摆幅，这是业内对低供电电压（一般最大5.5V）运放的一个要求，与此类似的，还有轨至轨输入特性；相比之下，TDA1308的最大供电电压为7.5V，所不足的是，它的最低供电电压为3V，略微高了一些，即使是TDA2822M也可以低至1.8V，不过TDA1308同时支持双电源供电。同时，TDA1308的a_{cs}（通道分离度）、I_O（最大输出电流）、C_L（容性负载驱动能力）指标也是相当不错的，不足之处是，G_v（开环增益）偏低了一些。

2. 集成待机与静音控制功能的双声道功放集成电路TDA7269A

TDA7269A是双声道AB类音频功放IC，1998年前后上市，与之同时上市的还有TDA7269，是ST（STMicroelectronics，意法半导体）公司针对基于CRT（Cathode Ray Tube，

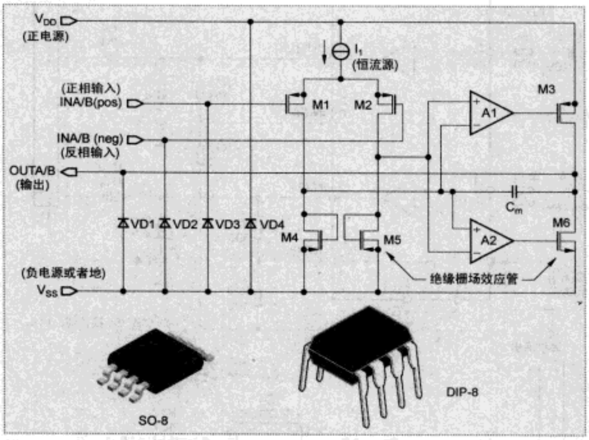


图5 TDA1308的内部等效电路原理图及其封装外形

表1 TDA1308的主要技术指标*（指标符号参见文中说明）

指标	最小值	典型值	最大值	备注
V_{DD}	3.0V/±1.5V	5.0V/±2.5V	7.0V/±3.5V	单/双电源供电电压
I_{DD}	–	3mA	5mA	空载，电流消耗
P_{tot}	–	15mW	25mW	空载，耗散功率
P_O	–	60mW	–	THD＜0.1%
THD+N	–	0.03%	0.06%	R_L=32Ω
	–	0.0009%	–	R_L=5kΩ
SNR	–	100dB	110dB	
a_{cs}	–	70dB	–	R_L=32Ω
	–	105dB	–	R_L=5kΩ
PSRR	–	90dB	–	f_i=100 Hz
T_{amb}	-40℃		+85℃	工作环境温度
G_v	–	70dB	–	R_L=5kΩ
I_O	–	60mA	–	THD+N＜0.1%
V_O	0.1V	–	4.9V	V_{DD}=5V，R=5kΩ
C_L	–	–	200pF	
SR	–	5V/μs	–	
BW	–	20kHz	–	功率增益带宽
f_G	–	5.5MHz	–	增益带宽

表2 TDA7269A及其类似型号的主要技术指标（R_L=8Ω，THD=10%，f_{IN}=1kHz，T_{amb}=25℃，有说明者除外）

指标与型号	V_S	I_Q	P_O	THD	PSRR	SR	Ri	C_T	P_{tot}	I_o	封装形式
TDA7269A	±5～±20	60mA	14W	0.03%	60dB	10V/μs	20kΩ	70dB	40W	3A	Multiwatt15
TDA7269	±5～±20	60mA	10W	0.03%	60dB	10V/μs	20kΩ	70dB	40W	3A	Multiwatt15
TDA7269SA	±5～±20	60mA	10W	0.03%	60dB	10V/μs	20kΩ	70dB	20W	3A	Clipwatt11
TDA7294	±10～±40	30mA	100W	0.01%	75dB	10V/μs	100kΩ	–	50W	10A	Multiwatt15
备注	供电电压	静态电流	输出功率				输入阻抗	串音抑制	耗散功率	最大值	

阴极射线管）显像管的电视机、家用微型组合音响市场而开发的，韩国LG的RE-28CZ20RX、土耳其Vestel（伟视达）的11AK37-8电视机，中国漫步者的R1000TC、韩国三星的SS-3552、中国纳伟仕的Anysound SS-3665、中国台湾Genius（昆盈，大陆为“精灵”）的SW-5.1 HF 5000多媒体音箱，日本Roadstar（马自达）的DVD-5113PSPK与DVD-5115PSPK等DVD微型家庭影院中均有应用，不一而足。

平板电视机带动了D类放大器的发展和应用，也掀起了一股D类热潮，对D类放大器的正面评价也日益增多，2008年至2009年的上半年，美国Tripath（炊普帕斯）公司的TA1011B功放板让无数爱好者趋之若鹜。尽管已经停业的Tripath公司将自己的技术注册了两个独特的商标：Class-T（T系列、T类）和Digital Power Processing（数字功率处理器），国内很多中文译本也都称之为T类放大器，这个名称也让不少爱好者迷惑不解，而实际上，它就是D类放大器。并不是说D类的声音就一定比线性功放的差，而且，像TDA7269A这样的功率输出能力，如果采用D类放大器，也根本不需要独立的散热器。尽管如此，线性功放真的会隐退么？线性功放的声音与D类功放的差别虽然不像晶体管与电子管的差别那样明显，但是线性功放的声音也同样有着自己独有的特点，关键是多听一听而不是仅仅看令人眩目的技术指标，这块来源于LT30C平板电视机的音频功放板也给我们提示了线性功放用于薄型设备的一种思路：大马拉小车，用比较低的供电电压来控制线性功放的发热量，与DC-DC开关电源相配合，保证有限的功率输出能力和供电效率。

与我们所熟悉的但是风光不再的日系制造商，如东芝、日立、三洋等，以及欧美的Philips、NSC（National Semiconductor Corporation，美国国家半导体）、TI（Texas Instruments，德州仪器）相比，ST的名气在国内并不大，我们所熟悉的不过TDA2030、TDA7294等寥寥几款而已，与TDA7294的技术指标相比，TDA7269A与它的差别并不明显，具体如表2所示。

型号为LT30C的30英寸液晶电视，音频部分的规格是12W×2，电路板上的标识则是10W×2，从表2来看，无论是哪一个标称值都是有水分的，要获得10W×2的输出功率（4Ω，THD=10%），TDA7269A需要25V或者±12.5V的供电电压，而这块功放板实测的供电电压V_p只有12.88V，折算下来只有2.65W×2的输出功率。所以在下文的摩改措施中，在兼顾摩改方法的复杂性、功率、散热的条件下，将供电电压提高至大约19V，使输出功率提高到了约6W×2（4Ω，10%）。

TDA7269A具备静音/待机控制端子，静音控制功能主要用来抑制开关机冲击声，双电源供电时效果很好，但是单电源供电时对开关机冲击声的抑制效果欠佳。Ⓦ

◎覃斌

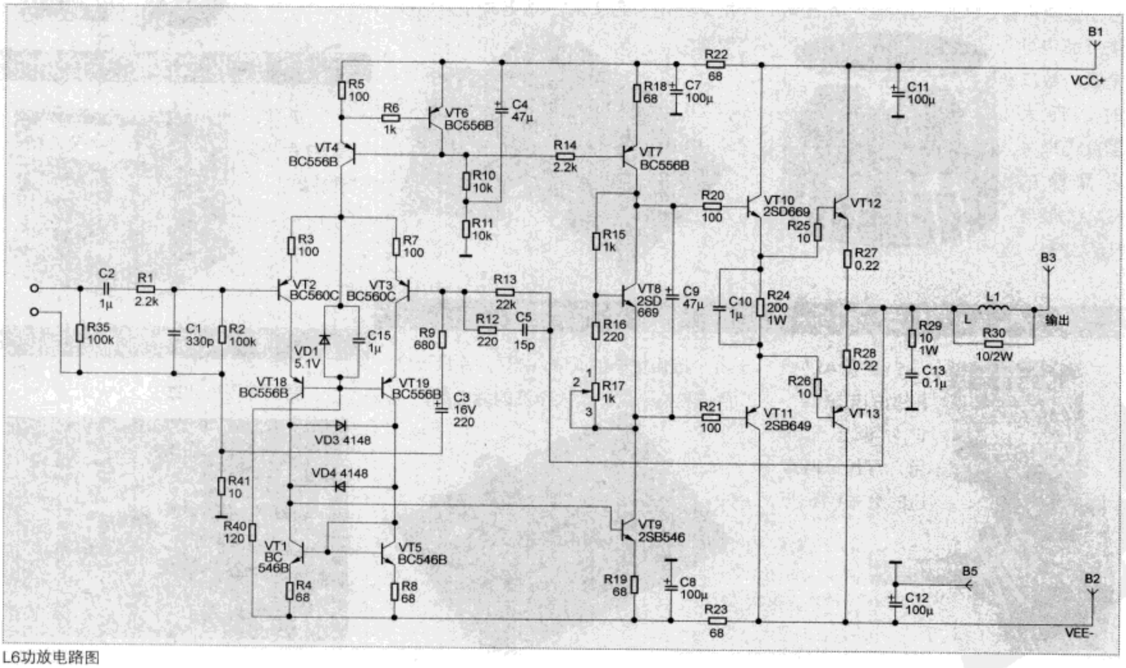
打造超强的Hi-Fi桌面功放

我在用电脑工作时喜欢听音乐，于是就开始了我的Hi-Fi桌面功放制作之旅。最初是想购买成品，走了不少市场，结果让我失望了，都是清一色的“工艺品”，好看不中听。好一点的就要天价，算了吧，还是自己动手做一台，十多年没有动手制作了，希望自己没有退步。

制作桌面功放，定位很清晰，就是要求功放的体积要小，功率在80W左右，能推动15英寸以内的任何音箱。我不太喜欢用厚膜或集成电路制作的功放，所以这次桌面功放采用分立元件，对管采用NJW0302与NJW0281，这对管音色优美，曾在某杂志上排名第一，好的就不多说了，打算一个声道用一对管（8Ω/每声道）。

电路的选择

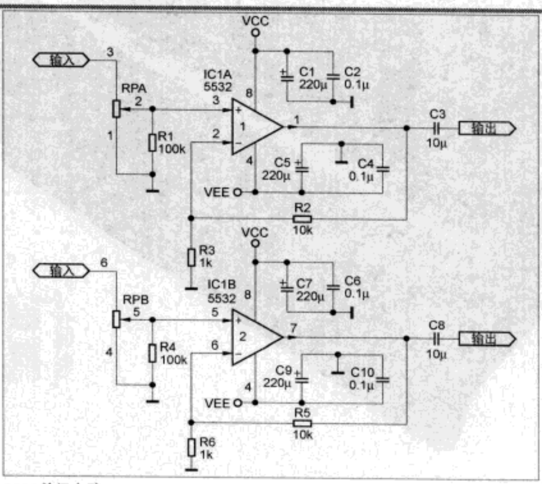
在选择功放电路时考虑了好久，最后选中了L6电路，L6电路是我认为这价位中最好的。该电路属于AB类功放，静态电流在50mA 左右，所以其发热量也不会太大。这是典型的非对称电路，单端放大，两级共射极电流跟随器。电路没有补偿电容，在示波器上测试，波形十分完美，不像很多电路波形有过冲自激什么的，需要一大堆补偿电容来保持稳定



L6功放电路图

性，可见这个电路设计得非常良好。非对称电路也是公认的比全对称更具有音乐味的，而且失真比全对称更小。采用的阿斯科德输入级有着极低的中点直流电压和噪声值。实际测量中点电压为3.8mV左右，表现得相当完美。前级我选用了运放NE5532，10倍放大，大家可能会觉得不可思议，这么低端的东西还能上大雅之堂？呵呵！非也，如果我没有记错的话，上10万元的机器全是清一色的运放前级哦。

电源部分选用了名牌大电解电容（10000μF×4），这么大容量的电容，对于两个声道来说够用了。变压器我选用的是进口250W的EI形变压器，很多烧友会问250W够用吗？为什么不用环形变压器呢？250W够用了，设计不失真功率为80W，在正常条件下，我们也就用到20W左右，保证一对管有100W的功率足够的了，很多商品机也都这样。



5532前级电路

元件的选择

1. 电阻

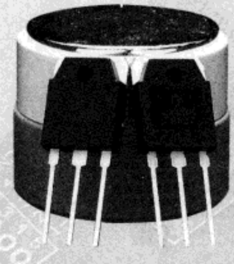
后级选用了我国台湾产高精度5色环电阻，前级要求就相对高点，采用来自美国DALE军规电阻。

2. 电容

大量使用损耗非常低、音乐味十足的BE、国产宏明牌OEM的MKP电容等。

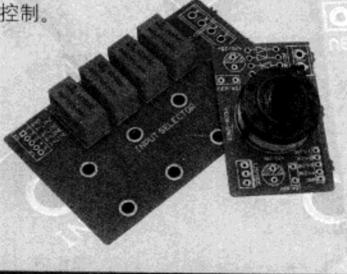
3. 三极管

小信号管都是PHILIPS 生产的音频专用低噪声管，PHILIPS的信号管在同类产品中可是数一数二的，而大管就选择大名鼎鼎的NJW0302与NJW0281。

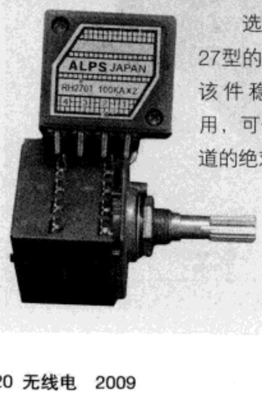


4. 继电器

在输入转换电路中，为了减小干扰，选用了名牌5V小继电器作为切换控制。



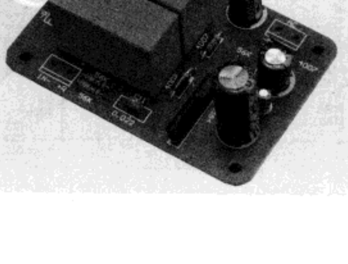
5. 音量电位器



选用ALPS 27型的电位器，该件稳定而耐用，可保证两声道的绝对平衡。

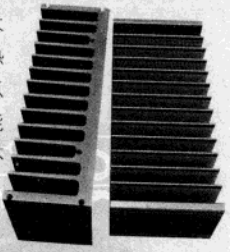
6. 保护电路

选用优秀的μPC1237，并且一个声道独立采用一个大电流的继电器。



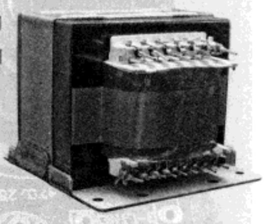
7. 散热器

选用大小合适的散热器还真有点难，基板不能太薄，太薄不利于均热。



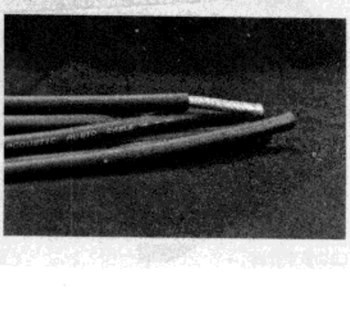
8. 变压器

进口的音频专用EI变压器。



9. 信号线

音频专用屏闭线。



制造步骤

1. 先把各PCB板做好，我的PCB板是朋友送的，这一步就省了。

2. 元器件的焊接顺序应该是这样：电阻、IC、小管、电容、大管。

3. 装好后，先别急着测试，先检查有没有错，三极管的脚位有没有接反等。

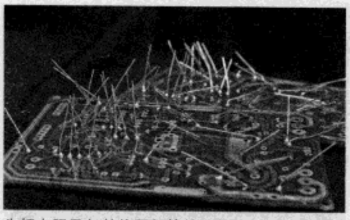
4. 机箱的制作不能太大，要尽可能小，不但质量不能太差还要考虑到散热的问题，之所以选择AB类的功放电路也是其因之一。

5. 检查好后就开始装机箱了，说实话布局是最考验人的实力，搞不好做出来的东西信噪比差等，下面就由图片手把手地“直播”吧。

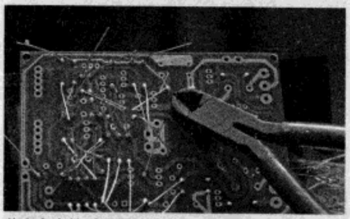
实战安装

1. 焊接元件

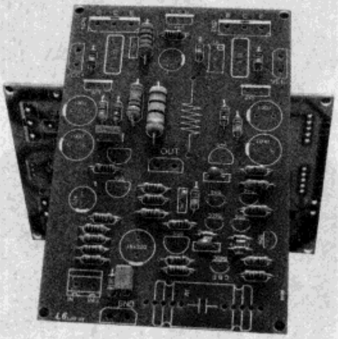
先从小的电阻开始，最后才对大管。装好后一定要认真检查。



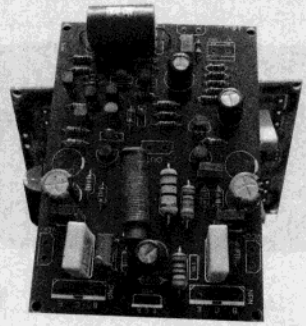
先把电阻及与其体积相等的元件装好，焊好后把多余的元件脚剪掉



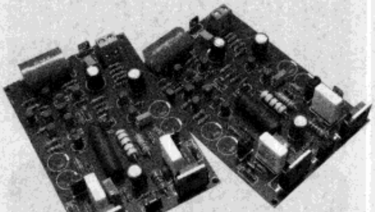
剪去多余的引脚再继续安装大体积的元件



大电阻、小电容

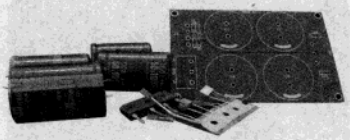


最后装大管，此时要考虑到方便安装到散热器上

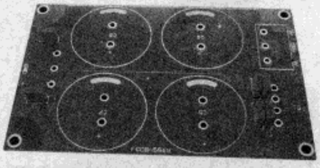


焊接好的后级板

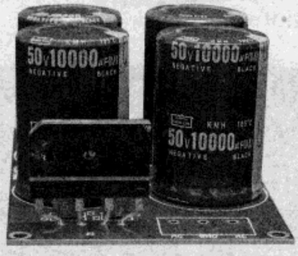
用以上相同的方法再装好前级、前级电源、后级电源、输入转换等。



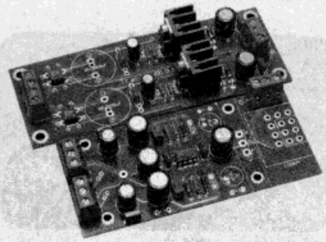
后级电源板所用的元件，PCB，10000μF /50V电容4个，0.1μF/100V电容6个，10A整流桥1个



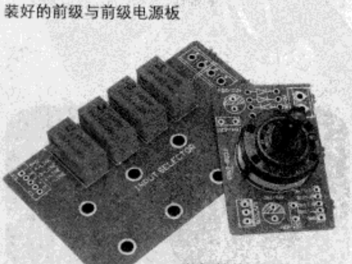
还是按元件的体积从小到大的顺序来安装，小电容装好了



焊接好的后级电源



装好的前级与前级电源板

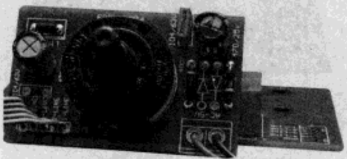


装好的输入转换板

2. 组装机箱

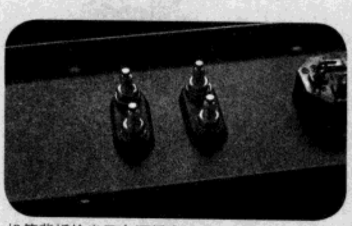
（1）先装输入板，在机箱的背板装上输入、输出的插座与接头，包括电源座。

插座和接头



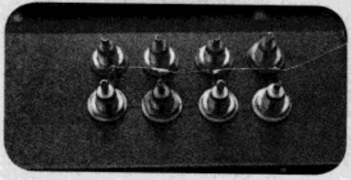
安装转换板

机箱背板的输入插座

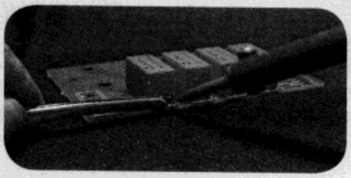


机箱背板输出及电源插座

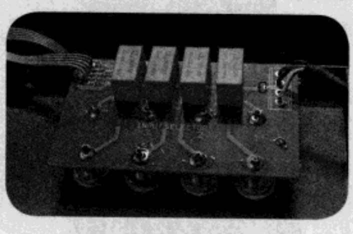
（2）装好 RCA 插座后，就用一根铜线把地线焊接起来。



（3）转换板搞好了，就焊上导线，排线来自旧的 40 芯硬盘线，并把 1N4148 焊上，这个可不能省。



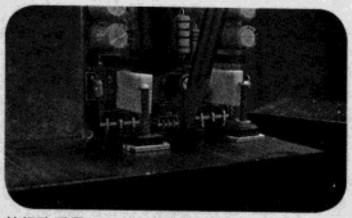
（4）把输入板与输入插头焊起来，注意了，这里可考焊工了，搞不好日后会出现接触不良或一个声道不响等问题。



（5）到开孔了，这个不用说了看图吧。

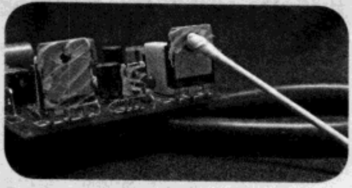
开孔工具

标记好要开孔的位置，并用定位冲定位，用 2.5mm的钻头开孔



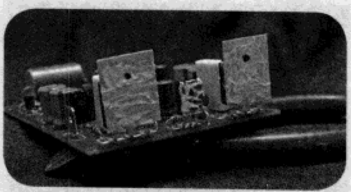
钻好孔后用6mm的钻头轻轻的钻一下表面，注意不能用力

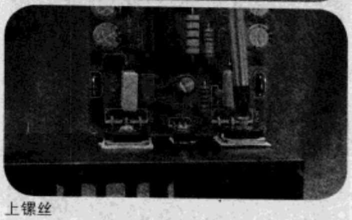
（6）开好孔后装上功放板。



在大管上涂上导热硅脂

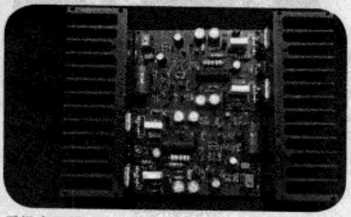
贴上绝缘导热片，再涂上导热硅脂





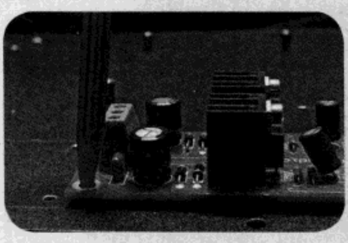
上镙丝

一个声道的板就装好了



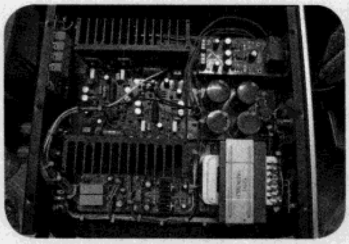
后级完工了

（7）装机箱，按设定的布局把固定板子的孔钻好，装上铜柱。

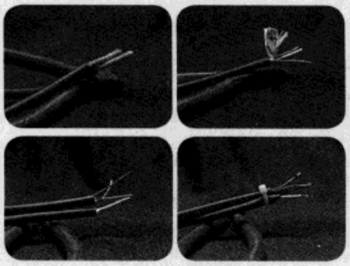


（8）装好后就要连线，交流信号线尽量远离前级与功放板，总的来说尽量远离信号源吧，这时电源板的电源先别连到功放板与前级电路。

（9）连好线后，先别急着通电，认真检查，先看电源的正、负极有无接反等。



（10）制作信号线。



（11）紧张的时刻到了。检查无误后，就开始通电了，通电测一下电压是否正常，90V、±45V DC 正常。前级的电压为 28.8V，±14.4V，设计值是双 15V 的，电阻有偏差，不过也可以了。输入继电器的电压 4.1V，正常工作。继电器是 5V 的。

（12）电压正常后就开始调试后级板了（一个声道一个声道来，不能急），先把电源板的地线、负压与后级板接上，再用万用表（电流挡）的黑笔接到功放板的正极，红笔接电源板的正极，无误后开电源，这里的静态电流应该在 5mA 左右（正常）。如果这时电流很大，证明后级板有问题。通电 2 分钟后就开始调静态电流了，慢慢地调，最好稳定在 60mA，完成后关掉电源把电源板的正极直接焊到后级板的正级上，完成了一个声道的调试。另一个声道一样的，不多说了。

（13）全部调好后就测一下两板的中点电压，很好，在 3.8mV。

（14）全部完成后接上前级，再测中点，没有问题后就可以接上音箱试音了。让它一直通电 24 小时后，再按上边的方法测一下静态电流和中点电位。

（15）最后就是做一些细小的工作了，如电源指示灯等。

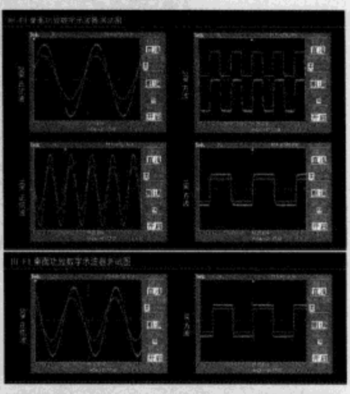
焊接LED时加上热缩管

正极串接限流电阻

正常发光了

3. 测试数据：

在业余的情况下只能用数字示波器测试，当然有条件的最好用AP测试，测试结果看图。



小结

1. 中点接机箱定在输入板上，一点接地。

2. 电位器就不用接地了，要不然有交流声（地线环路）。

3. 音量电位器放在输入端比放在前级与后级间好，并且没有任何噪声，信噪比很高。

4. AB 类功放开机后要 1 分钟左右电源才稳定下来，所以最好在开机一两分钟后再试听。

5. 0.1μF 的电容不能省，好指标有它的功劳，很多 Hi-Fi 友在电源部分能省就省，这样不好。

6. 继电器的 1N4148 一定不能省。

7. 整机的噪声值可以用“0”来形容，完全避免了任何噪声的产生，中点 3.8mV 可算是完美的了。

8. 完成后，通电 24 小时后，再细调一次电流。

9. 接上 CD 音源和小书架箱（6.5 英寸），高音很细腻，音场很大气，低音很有力，控制力很好，自然而从容。一首童丽的《太湖美》能够轻松地再生出更多的乐器和人声泛音细节。

出类拔萃的"小胆机"

◎张全定

笔者对电子管单端甲类放大器情有独钟，先后用6P1、FD-422、300B等组装过功放，这些功放除效率偏低、功率略小的缺点外，其通透饱满的音质、甜美厚润的音色、丰富而又讨人喜欢的偶次谐波，是推挽机难以达到的。近期笔者又用6P14（国外型号6Ⅱ14、6BQ5、EL84等）组装了一台单端小胆机，尽管输出功率只有区区2×4W，但对音乐的重放效果在同类小胆机中实为出类拔萃、绝无仅有。有了好东西不敢独占，笔者特撰文与烧友及同好共享。

一 电路的选取

制作的电路如图1所示，该机的主要特点如下：第一级用1/2 6N3作共阴极放大，主要是取其工作稳定、动态大、胆味浓、增益高等特点。为了展宽频带、提高信噪比，阴极没有加电解电容，形成电流负反馈；第二级采用阴极输出，如同晶体管的射极输出电路一样，其特点是构成电路100%的负反馈，所以该电路增益为1或小于1，但其阻抗、频响等特性指标却得到大幅度改善。因此它具有输入阻抗高、输出阻抗低、频响宽、失真小、带负载能力强、瞬态响应好等多项指标，完全适应当今众多数码音源的高保真回放要求；第一级到第二级采用了直接耦合电路。如果级间存在耦合电容时，其容抗的大小随着频率的高低变化而变化，导致音频信号的相移，从而产生相位失真。取消耦合电容后，使级间电容引起的相位失真荡然无存，同时也展宽了频带，动态范围也得到进一步拓宽。因此，放大器的音质变得清澄透明、细腻圆滑、层次分明、非常耐听，同时也使电路进一步得到简化。

这里输入级和推动级也曾试过采用 SRPP 电路，但其效果并不尽如人意。SRPP 电路确实有不少优点，如动态大、输入阻抗高、输出阻抗低、带负载能力强等。在 20 世纪 90 年代曾风靡一时，大有非 SRPP 电路不靓声之势，这主要是由于人们对 SRPP 电路从理论上认识还比较肤浅。从工作原理上看，SRPP 电路不属于单端电路，它属于串联调整推挽电路，因而也就难免存在交越失真和瞬态失真。况且这种电路的上管阴极并非是信号地电位，而是信号的输出端，这就无法消除电子管特有的灯丝与阴极间热电子放射形成的噪声。因这里是第一级放大，所以，失真和噪声经这一级和后面功放级的放大，其对声音造成的影响可想而知，因而，笔者放弃这一选择。

功率放大级选用了宽频带小功率放大管6P14P，该管在小功率管中为佼佼者，被发烧友冠以"淑质英才"的雅号，此管在20世纪50年代至60年代，只有在一些高挡收音机里才用到，如上海无线电二厂生产的飞乐牌272收音机、上海无

线电三厂的美多牌66A收音机以及前苏联生产的拉脱维亚牌收音机。据说飞乐牌272收音机曾被国家领导人作为馈赠佳品赠送国外元首及国际友人，可见质量之佳和名声之大。

从原理图上看，该机没加大环路负反馈，这是因为输入级已加了电流负反馈，推动级为100%的负反馈，这就为取消大环路负反馈奠定了基础。实践证明，取消大环路负反馈后，其声音具有相当好的瞬态互调特性，音色不但具有高级胆机特有的韵味，而且听起来特别鲜活，有弹性，有跃感。

二 元件的选择

为了保证整机的综合质量，元件选择也至关重要。胆管一定要选 J 级以上的，左、右声道要尽可能配对，误差越小越好。电阻的选用分两部分，放大部分全用国产大红袍金属膜电阻，功率要求除原理图上标明的外，一律用 1/2W 的；电源部分用了美国的军用 RCLAL 带铝合金散热壳的电阻。该电阻工作稳定，误差小，功率大，见图 2。由于带散热壳，所以温升较低，对降低热噪声、提高整机信噪比较为有利。电源整流输出第一级的 330Ω/6W 电阻是由 3 个 1kΩ/2W 的美产 AB 碳阻并联而成。这个电阻有两个作用，一是由于 AB 碳阻的声音温暖厚润早有定论；二是电解滤波电容在整流输出瞬间充电电流较大，此电阻起到限流与保护整流管的作用。电容选择对整机音效影响极大，本机只用了两只耦合电容，不同的电容均有不同的音色表现。笔者在这里选用了德国 WIMA(威马)薄膜电容，该电容前几年在国内也曾红极一时，由于其声音表现全面，音域宽阔，加之价格较低，所以性价比特高。如不在乎成本，也可用法国大 S SOLEN SCR（索伦）、美国 SPRAGUE（思碧）等电容。其实国产电容也有不错的表现，如新德克、凯立等 MKP 电容在发烧友中都有较好的口碑。国内 20 世纪 60 年代至 70 年代生产的白色陶瓷封装的油浸电容表现上佳，值得一用。电容的品牌、品种实在是太多了，同一电路换用不同的电容则有不同的音色，这中间不排除仁者见仁，智者见智的成分，爱好者可根据各自的听音习惯和爱好从中选用自己喜爱的电容，这里笔者就不再多说。电源在电路中的作用早有定论，发烧友中有“外行重电路，内行重电源”或“三分电路，七分电源”一说，电源的重要性可见一斑。那么，说到电源，无非就是整流、滤波，这看似简单，其实做起来颇有讲究，就拿滤波来说（包括退耦），发烧友公认的原则是“头大尾细中间小”，如尾大，容易出现尖硬声及急促声，声音速度被拖慢、滞后而缺乏动感，低音也发蒙，极不耐听。所以，笔者在滤波电感两端用了两只荷兰飞利浦蓝六角 100μF/385V 的电解电容。该电容体积小、漏电少、速度快，是不可多得的补品电容之一。如果用国产天和牌或和平牌电解电容，其效果绝不比国外品差，只是体积略大一些。第三级滤波电容选用了凯立 20μF/400V 的 MKP 薄膜电容。该电容几乎无漏电，充放电速度极快。加之薄膜电容属无感电容，因而放在滤波电路中有极佳的表现。退耦电容采用美产 ARCO10μF/300V 薄膜电容。该电容体积很小，因是二手货，所以价格很低，经仪器测试，其各项指标均优且十分稳定。由于在滤波和退耦电路里加入了 MKP 薄膜电容，对降低整个电源内阻，提高应变能力十分有利，因而该机声音干净利落，毫无拖泥带水之感，一些人认为胆机声音慢半拍的现象在这里被一扫而光。输出变压器是胆机的咽喉，也是制约胆机水准进一步提高的瓶颈，难怪一些名牌胆机厂家对其输出变压器的设计及制作工艺守口如瓶，高度保密。笔者所用的输出变压器连同底座都是由凯立厂订购的。该厂可按用户的设计和要求单独订做产品，当然有动手能力的发烧友完全可以自制，也不要把输出变压器看得过于神秘。笔者也曾在其他胆机中制作过，只要选好料，加上精心操作，绕出的变压器也不比专业厂制作的成品差到那儿去。具体制作资料很多刊物均有介绍，这里不再赘述。

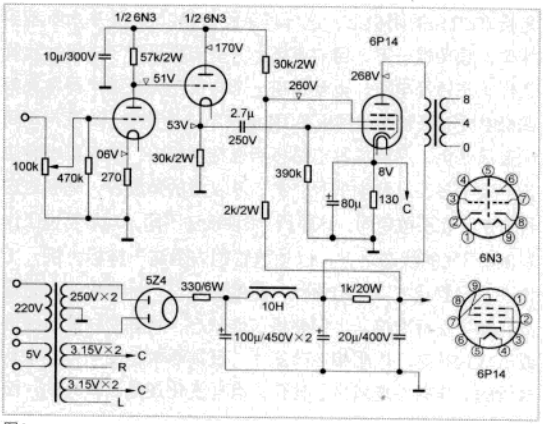


图1

三 安装与调试

这款胆机采用的是搭棚焊接工艺，就是以管座焊脚为基础，笔者还用了几个从旧仪器上拆下来的胶木连线支柱，这样就将所有阻容元件全部焊接在机箱内，见图3。

本机调试非常容易，焊机派特别是才入门的发烧友，大都没有专门的仪器仪表，所以笔者在这里只介绍用万用表调试各级电路的工作点：先调末级，因末级工作在甲类（A类）放大状态，工作点必须选在屏流直线的中点部分，可将万用表打到电流挡的100mA挡，然后串入屏极回路，调整6P14阴极电阻的阻值，当输入音频信号时屏流变大，

说明栅负压偏小；反之，说明栅负压偏大。也就是说当有音频信号输入时，屏流基本保持稳定或变化不大，这时工作点就算基本调好了。阴极电阻采用130Ω，屏流在45mA左右。另外，阴极电阻大小也与电源电压高低有着直接的关系，这一点一定要灵活掌握；再调前级，第一级无需调整，第二级只要阴极电位高于栅极2V左右即为正常。实践证明，本机各级元件只要连线正确，几乎无需调整。再有，末级6P14按标准接法工作，其所以没有按三极管接法，主要考虑有二，首先该机本身属于小胆机，不但体积小巧（300mm×180mm×55mm），而且功率也小，所以如按三极管接法，其功率会更小；其次6P14本身属于大跨导宽频带功率放大管，放大特性非常好，有着较平坦的频率响应曲线，即便是接成标准接法，也有极佳的放大特性。三极管接法虽然声音更加圆润、柔和，但以笔者看，这如同孙悟空带着紧箍咒，虽然听话守规，声音中规中距，但却失去了其奔放自由、无拘无束可爱的一面。所以,标准接法正是最大限度的发挥了功放管的潜质，放出的声音鲜活、威猛，极具动感。为了提高整机信噪比，灯丝绕组中心抽头没有接地，而是接在6P14的阴极上，这样耳朵距音箱20cm处基本听不到噪声。顺便提一下，目前市场上一些胆机采用了末级功放管工作状态转换电路，也就是用一个转换开关或继电器将束射四极管或五极管的帘栅极在3种接法中进行转换，以获得不同的音质音色。尽管这种电路多用在推挽机中，单端机也有应用，但不多。从科学的观点看，从发烧的角度讲，笔者对这种方法实在不敢苟同。这是因为3种接法不同，功放管也工作在3种不同的状态之下，以功放管的内阻这一指标为例，工作在三极管状态下内阻最低，超线性次之，标准接法内阻最高。如果在标准接法上调整好工作状态，将其变换成超线性或三极管状态，内阻相应改变了，反馈系数也变了，整个功放管的工作条件均发生了变化，有些变化还是比较大的，而功放管的外围元件却一成不变，如有大环路负反馈电路也未作相应改变，试想，这能达到Hi-Fi的要求吗？可能是笔者有些吹毛求疵，斤斤计较了。话又说回来，作为批量生产的厂家，采用一些折衷和妥协的办法，也不是不可以理解，但发烧友的追求永远是无止境的。

四 使用范围

在$20m^2$以下的听音环境，配上90dB以上的书架音箱，该机有着非同一般的表现。笔者曾将卧室电视机的音频引入此机，播放中央音乐台的大型交响乐，其音效和原电视机的放音系统相比，简直不可同日而语。又用此机替换下笔者电脑随机所带的多媒体有源音箱，不换不知道，一换忘不了，原机有源音箱虽然带有低音炮，但鼓槌打下去的声音是“嗡、嗡”的模糊一团，而用该机放出的声音却是“咚、咚”的清晰震撼。一换上去就不想再换下来了。难怪一些发烧友将电脑音箱称为垃圾音箱（当然也有发烧级的多媒体有源音箱）。笔者顺便多说一句，若要靓声，电脑的声卡一定要够档次，否则声卡便是瓶颈了。最近笔者又将该机与MP3配合，在$16m^2$的卧室听音，其声音虽然和CD相比还有一定差距，但仍然使人听得如痴如醉。因为MP3上的节目内容都是按个人的意愿下载或转录的，全是个人喜欢的内容，所以，笔者特别喜欢这一搭配。

五 玩机

由于电子管属于插拔元件，这就为发烧友换胆玩机提供了极大方便。同类型而不同品牌的胆管，或同品牌不同时期生产的胆管，均有不同的音色表现。笔者用的北京牌的6N3，其声音圆润甜美，胆味浓郁，当换上美国生产的5670，别看它个头小，并且是二手管，但其声音表现更加宽阔全面，使人不肯关机。末级功放管也是北京牌的6P14，它

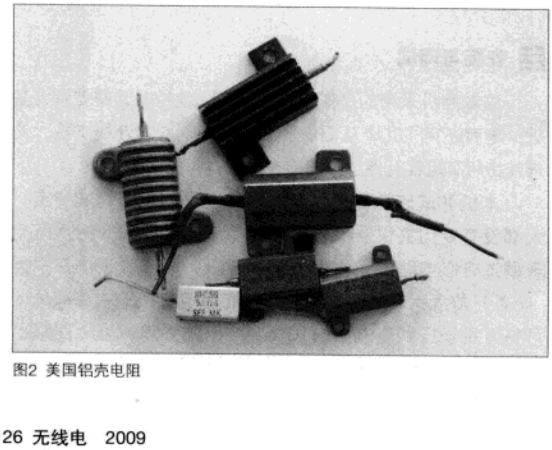


图2 美国铝壳电阻

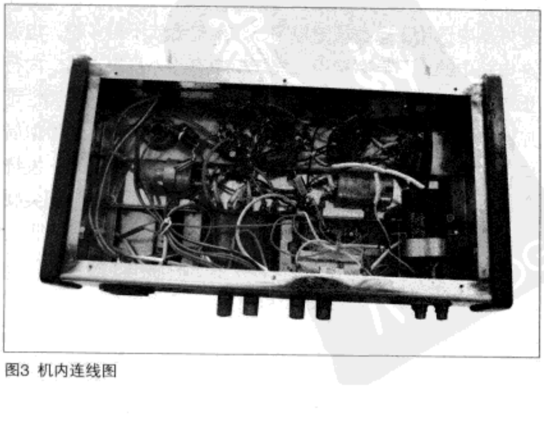


图3 机内连线图

图4 本机所用电子管

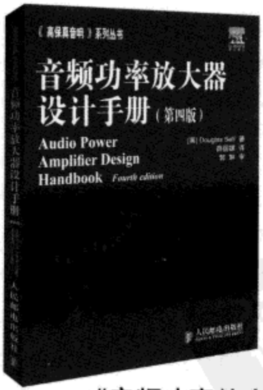
的音色同前面的6N3有着相同的特性，属于温暖型的。换上前苏联的OTK 6Ⅱ14，其声音表现明显有一个提升，高中低音均有上佳表现。可惜笔者手头暂时还没有EL84和6BQ5，不能领略其风采。发烧友还可以将6P14换成6P1，这两种管子的特性有些相近，只是声底略有不同，6P1属于束射四极管。一般发烧友认为五极管声音清丽，束射四极管则雄浑。6P1也有它的独到之处，它的屏极耗散功率较6P14略大，而且它的过电压能力更好一些，即使在300V极限屏压下也能稳定工作，而不致极间跳火或自激，难怪20世纪60至70年代电子管收音机功放管大都用此管。而且该管性能稳定，一致性好，使用基本不用配对，况且此管过去曾大批量生产，库存量较大，因而未被炒作，价格极其低廉，只有6P14的1/6到1/8。6P1与6P14引脚排列不一样，线路要作相应改变，阴极电阻要换为300Ω，阴极电压约12V。

关于煲机，有些发烧友机器焊好后，为了煲机而煲机，一天8个小时开着。更有甚者，只要变压器温升在允许范围内，则每天开机24个小时，少则几天，多则一个星期甚至更长，对这种煲机方式笔者实在持有异议。首先缩短胆管寿命，试想，每天24个小时，若煲一个星期，那就是160多小时，加之，晚上11时至第二天早6时，市电电压大都在250V以上（起码笔者所在地是这样），灯丝电压就在7V以上，高压更有上升，等于胆管在超负荷下“奔命”，能不损寿吗？搞不好胆管极有可能落个“出师未捷身先死”的悲惨命运。其次浪费能源，胆机耗电是大众所周知，这个小胆机还问题不大，若换成845、211大食量（大功率）胆机，会有几百瓦的耗电量，这个账笔者就不用算了。以笔者愚见，边听边煲（即以听代煲）才是比较合理的，笔者是这样认为的，也是这样做的，自己心中有数就行，日月长，何必那样着急。

最近笔者为该机选配了一对美国优雅4英寸全频音箱，灵敏度为94dB，确为绝配，与笔者的300B单端相比，各有千秋，互有所长，对此机有兴趣的烧友不妨一试。

个人简历

本人是一名退休工程师。从小学四年级开始在《无线电》杂志的指引下，迷上了电子制作。从组装矿石收音机，到音响器材的制作。酷爱电子，也促进了学习，中学时代我的数、理、化成绩一直名列前茅。参加工作后，在广播电视部门从事技术工作，自幼的电子爱好使我在工作中如鱼得水，先后搞过多项技术革新。退休后，充裕的时间使我的电子爱好可以尽情地释放。电子爱好使我的生活多姿多彩，非常充实。我将自己的爱好和制作成果写出来，愿与我有同样爱好的人分享。



书号：21385 定价：80元

《音频功率放大器设计手册》

《音频功放设计手册》深入浅出地讲解了音频功率放大器的设计理念和制作细节，并以大量的电路试验数据向读者展现功率放大器的技术发展水平。该书至今已经历多次修订，这次修订添加了D类级放大器和用于控制输出偏移的直流伺服系统等内容。这些新增内容在近年的音频功放设计中已被广泛应用。

本书中充满了关于音频功放设计的真知灼见，同时也包括许多完整的设计思路和图表。无论是学习功放电路知识的爱好者、还是设计音频功放的从业人员，都能在本书中找到相关设计原则和实践数据。

基于开关电源的线性功放及其摩机（续）

◎吴红奎

3. 开关机噪声抑制与待机控制电路

开关机噪声抑制与待机控制电路属于保护电路的范畴，具体电路如图6所示。这是一种电子保护方式，而非传统的继电器保护方式，没有采用专用集成电路，如日立的HA12002、东芝的TA7317。NEC的μPC1237等，也没有采用功能相对单一的分立元件电路，而是以逻辑电路为核心组成了多功能的电子保护控制电路，电路形式看起来有些繁复，其目的是减少印制板占板面积和电路成本，可用寿命也比继电器要长一些，而且也更为节能，因为除非采用自锁继电器，继电器就需要维持电流。

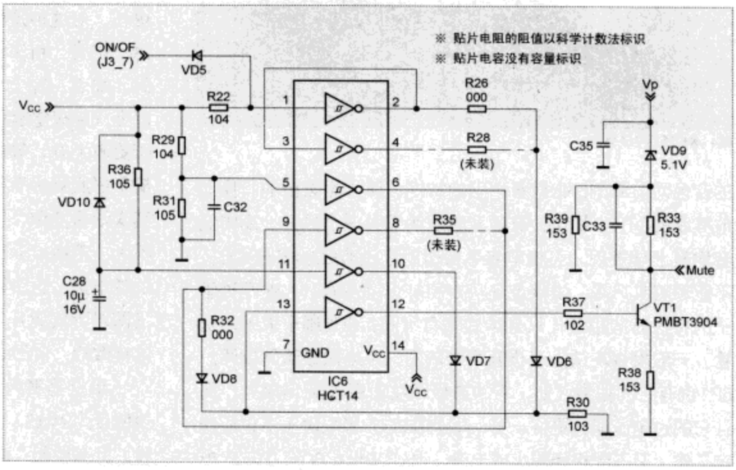


图6 开关机噪声抑制与待机控制电路

HCT14内部集成了6个相互独立的、带有施密特触发器的反相器。反相器的特点是输入/输出端的电平总是相反的，施密特触发器的特点是只需要一个触发脉冲，而不需要维持电平就能使电路反转，而且速度很快，因此HCT14是高速反相器。板上所用的HCT14是TI的产品，具体有两个型号：一个是SN74HCT14，工作温度范围是－40℃～＋85℃，是针对一般工业应用的，只有塑料封装。另一个是SN54HCT14，工作温度范围是－55℃～＋125℃，是针对军事等高可靠性用途的，有陶瓷封装可供选择，两者均有SO（Small-Outline，小外形封装）、SSOP（Shrink Small-Outline，窄型小外形封装）、TSOP（Thin Very Small-Outline，薄型小外形封装）、TSSOP（Thin Shrink Small-Outline，薄、窄型小外形封装）、DIP（Double In-line Package，双列直插封装）封装形式，引脚均为14个，主要的电气参数也是一样的。

保护控制电路的执行元件是VT1，SOT-23封装，实物上的印字是t1A，对应的具体型号是PMBT3904。原本的制造商是Philips，印字中的“t”表示产地（马来西亚），如果是“p”则表示产地是中国香港，不过3904的兼容制造商很多，所以也不一定就是Philips生产的。

在图6中，VT1的基极为低电平时，VT1关断，集电极为高电平，这个高电平送到IC2（TDA7269A）的5脚（参见图4）进行静音控制。这个高电平由稳压管VD9、R33、R39从*Vp*获得，其典型值与*Vp*有关，只要保持在“*Vp* －2.5V～*Vp* －6V”之间，IC2就进入静音状态。但是还有一个前提，那就是TDA7269A已经上电启动了，或者换一种说法，上电期间，TDA7269A要进入静音状态，需要先进入待机状态而不能直接进入静音状态，启动电容C33就是为上述要求设置的。上电瞬间，C33两端的电压不能突变，相当于短路，将R33暂时短路，送到IC2的5脚的电平就更高，这个电平大于“VS －2.5V”，使IC2得以进入待机工作状态，然后等C33充满电，电平才变为正常的高电平区间“*Vp*－2.5V～*Vp* －6V”，IC2由待机状态转入静音状态。当有高电平送到VT1基极时，VT1饱和导通，R38加入VD9、R33、R39组成的分压网络中，送到IC2的5脚的电平变低，电平典型值低于“Vs－6V”，IC2进入正常工作状态。所以，这里的所谓低电平并不是0V，

换句话说，VD9、R33、R39、R38的数值并不能任意改变。VD9在这里除了恒定值（5.1V）的降压功能以外，对IC2而言，还有欠压锁定作用。如果V_p小于5.1V，VD9就不会击穿，相当于开路，其后的分压网络就会失去作用，IC2就不会进入启动时序，即不会进入待机状态，静音、工作状态也就无从谈起。

简而言之，IC2要进入正常工作状态，VT1的基极应该是高电平，即IC6（HCT14）的12脚应该为高电平，13脚就应该为低电平。如果没有外部控制电平的到来，即通过VD6、VD7、VD8到来的高电平，IC6的13脚就因为R30而被置于低电平，因此R30起到了电平复位的作用。

在图6中，IC6中的6个反相器只用了4个，3、4脚与9、8脚相当于闲置了。C28是启动延时电容，系统上电时，因为C28的两端的电压不能突变，相当于对地短路，11脚为低电平，10脚就为高电平，通过隔离二极管VD7使13脚也为高电平，12脚为低电平，VT1关断，如上文所述，IC进入待机→静音状态。随着V_{cc}通过R36对C28的不断充电，经过3～5s将C28充满电，IC6的11脚随之变为高电平，10脚反转为低电平。上电瞬间，IC6的5脚还有一个小容量的C32，在更短的时间将5脚置于低电平，6脚为高电平，让VT1在上电瞬间先导通一下，只有这样，VT1集电极的C33才能起到启动作用。

外部静音控制是这样实现的：IC6的1、2脚反相器用来实现待机控制，VD5通过J3的4脚进行控制，4脚接地，IC6的1脚为低电平，2脚为高电平，通过VD6将13脚置为高电平，12脚为低电平，VT1关断，IC2进入静音状态。

断电时，IC6 本身会迅速停止工作，VT1 迅速关断，IC2 迅速进入静音状态，从而抑制关机冲击声，不过这只是对IC2 双电源供电时而言。如果是单电源供电，IC2 的输出隔直流电容还是会通过扬声器对地放电，扬声器中还是会有轻微的冲击声，开机时情况同样。也就是说，对单电源供电的情况而言，这个电路只是抑制了系统的前级、IC2 内部的驱动电路以及自身启动过程对扬声器的冲击，输出隔直流电容对扬声器的冲击还是难以避免，好在这个冲击声比较轻微，只是轻微的“噗”声而已，这也是采用继电器的保护方式至今仍然应用广泛的原因之一。

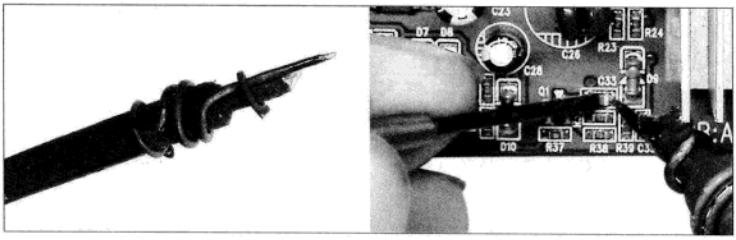


图7 简单改制的专用烙铁头与使用方法

三 简单摩机

之所以要摩改这块功放板，主要原因有两个：一是因为IC2的供电电压偏低，输出功率与动态偏小，音量稍微一开大就会有声音阻塞现象；二是底噪偏大，输入端接地或者悬空时，耳朵距离扬声器1m远的距离就可以明显听见混合在一起的“嘶嘶”、“沙沙”噪声，因为是开关电源供电，低频“哼”声自然是听不见的。

这块板上有不少SMD阻容元件，上述摩改也恰巧需要改动它们，如果有专用的工具，如热风焊台、专用的尖细嘴的镊子、固持胶（先将SMD元件粘到印制板上再进行焊接）等，自然不在话下，业余条件下，准备如下常用工具，也可以进行SMD元件焊接与拆除：

◆ 普通电烙铁两把，其中至少有一把是25W的，另外一把也应该在50W以内。

◆ 扁平头（一字头）的钟表起子或者其他有细小扁平前端的工具两把。

◆ 普通镊子一把。

◆ 放大镜一个，并非必须，如果视力不好最好准备一把，有一种带有机械臂和夹持工具的放大镜焊台当然更好。

◆ 一段直径1.5～2mm的漆包线（长度10cm左右即可），一个废弃的25W烙铁头，两者结合起来用来改造一个专用的烙铁头。

◆ 其他常用的通用辅助工具，如万用表、钳子、焊锡、助焊剂等。

先说说怎么用普通电烙铁来拆除SMD阻容元件，用两把电烙铁同时加热SMD元件的两端，持续一两秒，稍稍练习一下，就可以将它们拆下来。有些比较小的，尤其是有些偷工减料的板子，元件下面没有加固持胶，只用一把烙铁加热其中一端，时间稍微长一些，也可以将它们拆下来。方法简单有效，没有什么特别要多说的。

再说焊接，先要改装一个专用的烙铁头，专门用来焊接SMD元件，如图1所示。把直径1.5～2mm的漆包线先脱去漆皮，按照图1那样缠绕固定在废弃的烙铁头上。注意，废弃的烙铁头必须是仅仅是前端用得太短了，不太方便用了而不是已经损坏了，图示是内热式的烙铁头。标准的尖头烙铁头虽然也可以用，但是温度稍微有些偏高，不太容易掌握焊接时间，而且尖头的烙铁头也容易钝，钝了就不好用了，同时，在SMD元件与插脚混装的电路板上，如果插脚元件的密度相

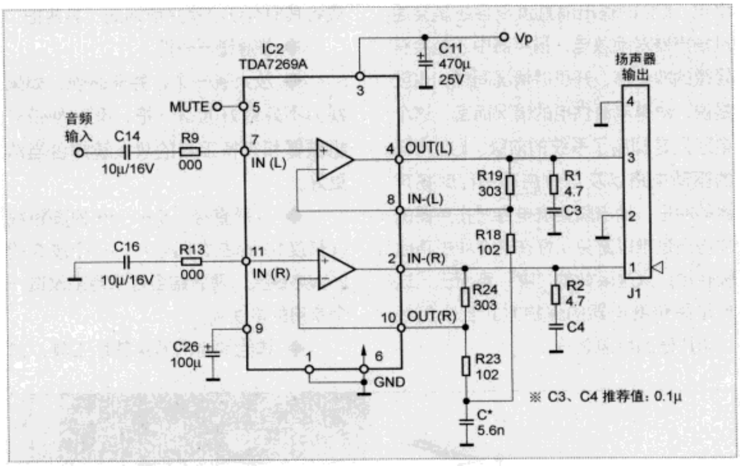


图8 TDA7269A的单电源BTL应用电路

对比较大时，这个改造的烙铁头就更好用，只需要将前端长一些即可。漆包线固定好以后，还要将前端锉成梯形面，至少是扁平的而不是尖尖圆圆的，这样才好用，这也是它比标准尖头烙铁好用的秘笈之一。这样改造好的烙铁头，寿命很长，而且可以很方便的装在25W的内热式烙铁上，随用随装，要用的时候装上，不用的时候拔下来换上原来的烙铁头，不影响原来烙铁的正常使用。

两把扁平头的钟表起子是焊接SMD元件时用的，先用镊子把要焊的SMD元件放置在焊接位置，左手用一把起子的前端轻轻按住，右手用另一把起子轻轻拨动SMD元件，使其精确到位，左手略微用力按住保持不动，放下右手中的起子，拿起电烙铁，对准焊接好其中一端即可，如图1所示。焊接好一端，将印制板掉个，再焊接另一端。

四 提高IC2的供电电压

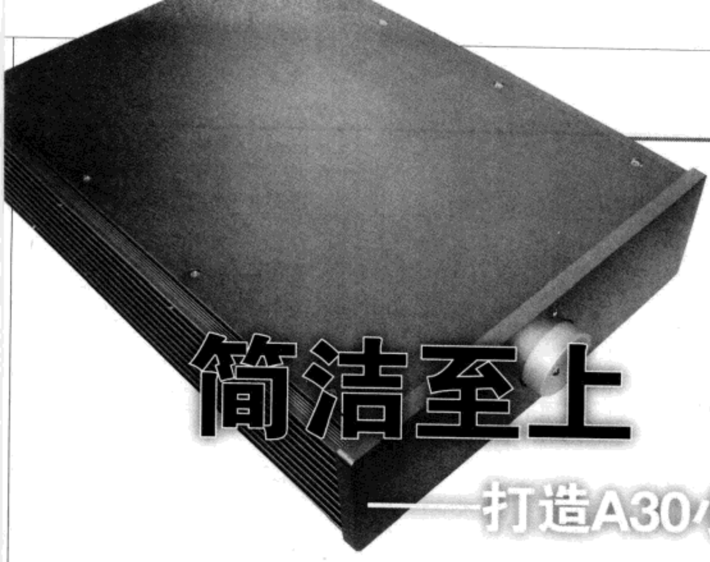
IC2的最小供电电压是10V，实际的静态供电电压是13V，因为供电电路中串有R7、R8，动态时的两个电阻的压降可达1V以上，如果达到2V实际上就将供电电压降到了10V，这势必影响IC2的工作稳定性，同时比较低的供电电压也限制了IC2的功率输出能力。比较有利的条件是，这块板上的IC1（GM7230）刚好是可调版本，只要保证输入电压高于输出电压2V，并且输入电压低于40V，就可以方便地调整其输出电压，输出电压的计算公式在本文的图3中已经给出了。因为R5的实际取值偏大， C8因为实际没有安装，它的位置刚好可以装一个电阻，与R5并联以减小其阻值达到提高输出电压的目的。用一个3kΩ的电阻装到C8位置，实测IC1的输出电压为22.6V，长时间试机时发现IC2的散热片有些热，将3kΩ的电阻换成4.7kΩ的，IC1的输出电压实测为19.1V，长时间试机，未发现IC2的散热片过热，大音量时也不再有声音阻塞的现象，提高IC2供电电压的摩机结束。

五 降低底噪

这块功放板的底噪听起来有些偏大，提高 IC2 的供电电压后，底噪听起来就更明显了。对比输入缓冲放大级 IC3（TDA1308）的实际电路与典型应用电路，发现增益偏大了，IC3 原本设计用于小功率放大，典型应用电路的电压增益为 1，而实际电路的电压增益约为 10（R11/R10）。于是将 IC3 改为典型应用电路，将 R10、R11 和 R14、R15 均改为 3.9kΩ，上电试机、试听，耳朵距离扬声器 0.5m 处也不太容易听到底噪的声音了，降低底噪的摩机结束。

如果顾忌输出电容对低频下潜的影响，将IC2的供电改为双电源也是可以的，只是采用开关电源供电就不容易了，改动比较大。还有一种方法是，IC2单电源供电方式不变，放大电路改为BTL（Balanced Transformer Less，平衡桥式功放电路），这样就需要两块这样的功放组件才能组成双声道的功率放大器，如果手中刚好有两块这样的电路板，不妨一试，图2所示的是TDA7269A的BTL应用电路原理图，将OTL双声道模式改为BTL单声道也不算复杂：断开9脚与反馈电路的连接，增加一个5.6nF（5600pF）的电容，将一个通道的输入端通过原有的耦合电容接地，将输出通道中的耦合电容去掉，用短路线代替即可。这样一改，除了去掉了输出耦合电容，19V单电源供电时，输出功率可达18W（4Ω，10%）。

如果你是一个耳放爱好者，把这块板作为耳放也很合适，用TDA1308做耳放会胜过不少你试过的运放乃至分立元件电路，只是这块板上的耳放，TDA1308输出端的电容虽然是无极性电解，容量却有一点小了，最好换成100μF的，或者再费一些事，改成双电源供电，±3V即可，最好的方法是用4节1.5V的电池或者两块手机电池来供电，效果嘛，你试了就知道。



简洁至上 靓声功放

——打造A30小型发烧级甲类功放

◎卞镜秋

一直想打造一款简单的发烧功放，经过一番努力，这一心愿终于实现——一款A30的功放诞生了。之所以叫A30，是因为其设计的最大功率为30W，可以工作于纯甲类状态下，就是30W纯甲类功放的意思。

A30 是专门为高标准音乐重放而设计的高品质小功率功放，注重的是音响重放效果。甲类功放没有交越失真，对电路的稳定性要求很高，本人对听音要求较高，要求声音平衡性要好，表现比较全面，因此，电路设计和元件选取就显得非常关键。先考虑电路的形式，一般用对称的电路设计可以做得比较简单，性能也比较高。对比各种电路，输入级采用场效应管做互补放大，只要两个管子，不用另加恒流源偏置电路。电压放大级用简单的共射放大电路，输出级关键是功率管的选择，考虑到用双极型三极管要推动级，增加了元件，决定用场效应管做输出元件，这样省掉一级推动，电路就更简单一点，而且场效应管声音细腻甜美，也很讨人喜欢。

选取元件同样也很重要，先是输入级的场效应管，选用跨导大的场效应对管K366/J107，这样可以得到更好的线性和增益，还可以减轻电压放大级的负担。这对管和大名鼎鼎的K170/J74同是东芝的产品，各项性能相差不多，而且跨导还比K170/J74大一点，只是功率稍小了一点，但是用在输入级，200mW的功率已足够了，价钱却便宜不少。这两对管的主要参数对比见表1。

输出级的元件选取是难中之难，之所以这样是因为一般场效应管都有低频欠缺的特点，特别是听大动态的音乐时就脚软或低频下潜不够等。对比双极三极管和场效应管，可以看到，场效应管的跨导明显小很多，电流越小，跨导越小，这就造成了场效应管低频不足的缺点。一般音响用的场效应管都存在这个问题，最后只能放弃用一般音响用的场效应管，选用日立的超大电流场效应管K2586/J555，这对管的电流达到60A，跨导也比一般的场效应管大很多，表2所示的是这对管的主要参数。这对管耐压只有60V，不过用来做功率不大的机器是足够了。

电压放大级用的三极管对声音的影响也是非常明显的，曾用很多对管进行实际听音对比，最后决定用东芝的A1145/C2705。这对管的声音很暖和，而且低频足，高音甜，非常耐听。

另外，要使功放稳定工作，温度补偿也非常重要，补偿过大和不足都会造成工作电流不稳定。鉴于场效应管的特

表1

型号	2SK366/2SJ107				2SK170/2SJ74			
参数	MIN	TYP	MAX	UNIT	MIN	TYP	MAX	UNIT
P_D			200	mW			400	mW
V_{gds}			40/25	V			40/25	V
I_{gss}			1.0	nA			1.0	nA
$\|Y_{fs}\|$	12	28/30		ms	8	22		ms
Ciss		30/105		pF		30/105		pF
Crss		6/32		pF		6/32		pF

表2

参数	2SK2586	2SJ555
耐压（V）	60	60
功率（W）	125	125
电流（A）	60	60
瞬间最大电流（A）	240	240
开启电压（V）	1.0~2.0	1.0~2.0
跨导（S）	27（min）	35（min）
反馈电容（pF）	500	450

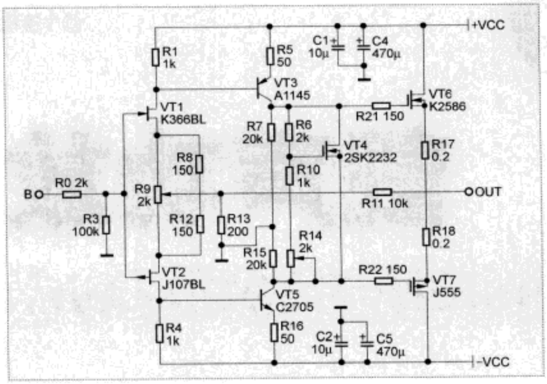


图1

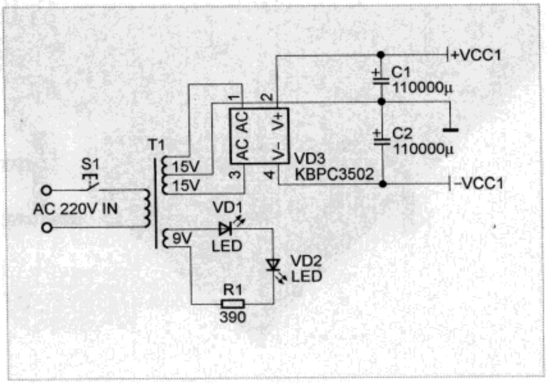


图3

性和双极型三极管不同，用一般三极管做补偿就容易补偿过度，造成负温度特性的假像，开机电流会比稳态电流大很多，这样很容易烧管，所以选择用性能基本相同的场效应管补偿就是最好的方法。选用场效应管2SK2232比较合适，它的开启电压跟K2586/J555的基本一样，试验证实，用这个管做补偿时电流很稳定，散热器温度很高时都能比较稳定。

经过以上考虑，最后决定采用的功放电路如图 1 所示。该电路采用纯直流放大形式，这样可以省掉耦合电容，而且电路更简单，性能更好。该电路一共分三级，都是互补对称电路。第一级采用 K366/J107，偏置方式为自给偏压，电流选在 1.6mA，电压放大倍数大约是 1.6 倍。第二级用三极管 A1145/C2705 做共射放大，射极电阻用 50Ω，本级电流是 20mA，R7 和 R15 是电压放大级的负载电阻，电压放大级的放大倍数约 400 倍。第三级用 K2586/J107 接成跟随器形式输出，整个电路的开环电压增益大约是 1.6×400=640 倍，闭环增益由 R11 和 R13 决定，约为 50 倍(34dB)。增益取得较大，这样可以省掉前级，可以直接做成合并机。2SK2232 与 R6、R10、R14 共同组成功率管的偏置电路，R14 可以调节偏置电压大小，从而调节静态电流大小，R9 可以调节中点电位。

整个电路比较简洁，元件不多，一个声道用一块PCB，如图2所示。该电路板的排版也比较讲究，大电流的连线都采用了很大的线径，信号地线和电源地线分开，之间可以通过一根连线连起来。当两声道独立供电时直接连接即可。当两声道共用电源时，信号地线和电源地线可以分开，分别用线接到总地线，这样可进一步提高信噪比。另外，功放板上没有整流和滤波电路，这部分电路需要外接，同时可以选用不同的滤波电容，方便制作。外接的电源电路如图3所示。

为了使功放有更好的效果，所有元件都选用原装发烧件，主滤波电容是美国思碧36DE系列110000μF/40V电容，退耦电容选用化工电容，变压器选用的是300W、输出双15V环形变压器，整流桥选用的是35A原装整流桥，连线用西电麻线，电位器使用ALPS的小型电位器。PCB做好，元件也备齐了，接下来就是安装和调试了。

1. 先规划功放的安装结构，由于PCB比较小，把板竖起来安装在散热器上更好看，而且可以省空间，让功放布置更紧凑。所以选用了小型全铝机箱，变压器和滤波电容各放机箱一头。

2. 在机箱和散热器相应地方钻孔，用来固定环形变压

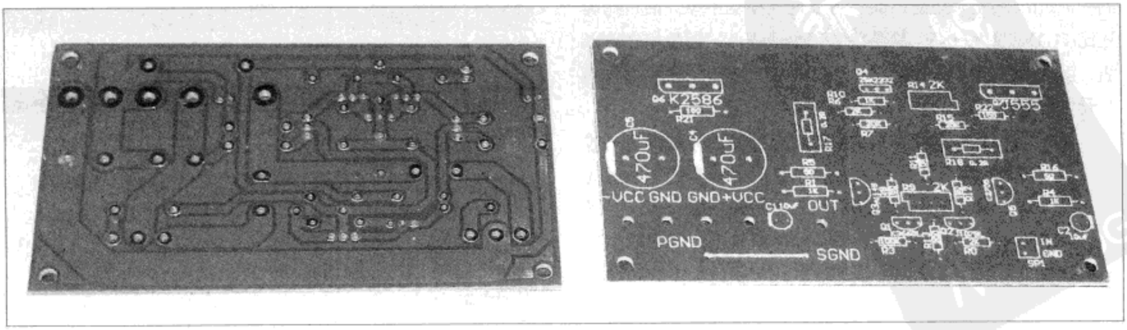


图2

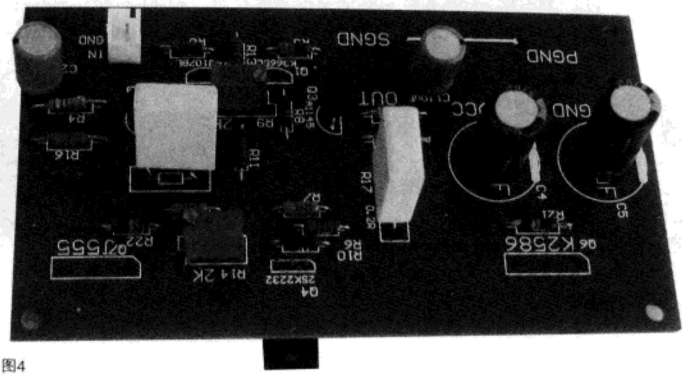


图4

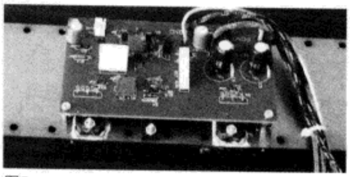


图5

器、电容、整流桥及功放板。功放板安装在散热器的中间，功率管装在散热器的底部。

3. 固定好变压器，装好后板，连接好电源，然后装好整流、滤波电路，电源电路就完成了。上电测试，测得滤波后的电压为±22V左右（空载）。

4. 功放板装上除功率管以外的所有元件，如图4所示，检查无误后上电初调，调节R9和R14，使R21、R22上的对地电压分别为±1.5V。

5. 装上功率管并且把功放板固定在散热器上，如图5所示。然后上电调整静态电流和中点电位，用万用表测量无感电阻R17或R18上的压降来换算成静态电流（200mV时电流为1A）。调节R14，使静态电流稳定在0.5A，此时因散热器较热，所以没有再调大静态电流。调节R9，使中点电压为零（在10mV以内）。

6. 两声道的功放板分开调试，调试好了就可以进行最后的安装了。

7. 安装好电位器、莲花座、输出接线端子，并且接好线。安装时地线按一点接地，星形接法处理。总接地点选择在两个滤波电容的中间，功放板中的信号地线和电源地线分别用线连到总接地点，输入地线和电位器的地线也分别用屏蔽线连到这里，机内所有信号线都采用屏蔽线连接。将滤波电容平放，用一根两边带铜耳的线卡住，两边用螺丝固定好。

8. 装上电源指示灯和音量指示灯，两个LED串接一个390Ω的电阻，用一组9V的电源供电。

9. 最后把机内线整理好，用扎带绑紧，安装好的功放内部如图6所示。

10. 安装好机箱，一个漂亮的功放就完成了，如图7所示。

最后讲一下A30的应用，由于元件的耐压比较低，所以最高应用电压只有±26V，最低可以在±6V下工作，建议在±12~±25V下应用。在电源电压为±26V，负载8Ω时可以得到大约30W的输出功率。A30功放可以工作于甲类和甲乙类，同样都有很出色的表现。当静态电流不小于(VCC-3)/2RL时，功放工作于纯甲类状态下，不过这样要求散热器面积比较大。如果电流比较小，功放将工作于甲乙类，建议静态电流在200mA以上。变压器功率宜用大一点，最好在200W以上。另外，建议两个声道独立供电，这样地线会容易处理。

整个功放电路简单，元件不多，而且调试容易，方便制作。声音非常迷人，中、高音细腻甜美、低音浑厚有力，感觉不到是这么小功放发出的声音。用来听人声、小提琴、交响乐也有比较好的表现，达到了预期的效果。关于这方面就不多说了，让有兴趣的同仁亲自来体会。Ⓦ

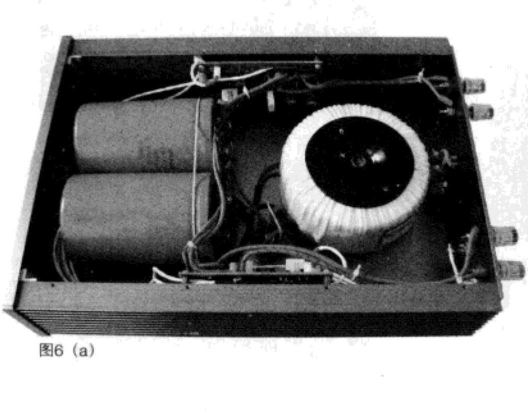


图6（a）

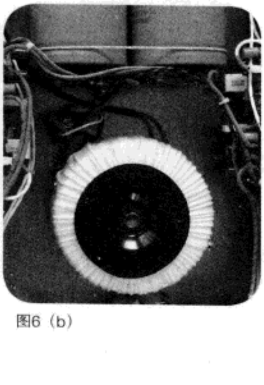
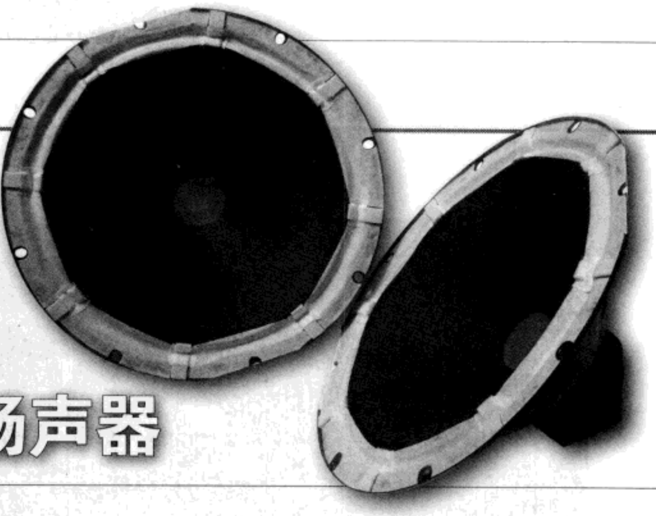


图6（b）

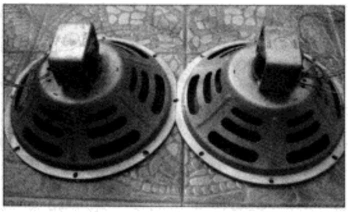
图7



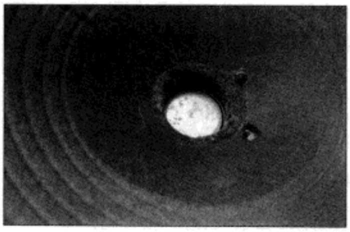
◎倪文贤

改造一对损坏的12英寸励磁全频扬声器

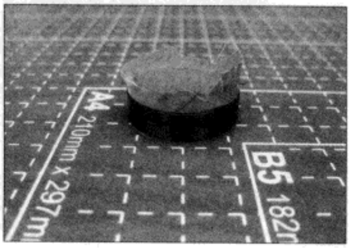
01 这是一对年代久远的励磁全频扬声器（励磁就是以电磁铁为磁体），经过很多年的风风雨雨，到我手上时，这对扬声器已严重损坏了，丢了可惜，决定想办法重新改造，让它“重获新生”。先来看看受损的情况，看有哪些零件是可以被再利用的，然后再制定改造方案。



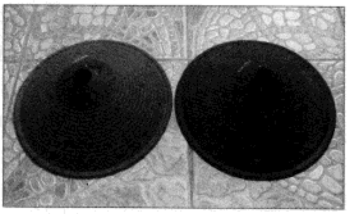
02 不知什么原因，一个扬声器里的音圈脱落了，两个扬声器的防尘帽都没了。



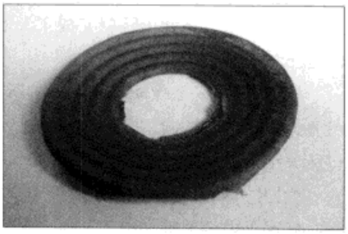
03 这是脱落的音圈，音圈骨架是牛皮纸材料，骨架外面涂过一层胶，由于出厂时间已很长，骨架都发脆了，拿在手里稍用一点力就会开裂，把另一个扬声器的音圈拆下也是同样的情况。看来这音圈是没法用了，得重做音圈。



04 拆下两个音盆，是手工拼接后再模压的纸盆，折边也是纸的，比较紧，感觉音盆的上下行程很短，盆折边有部分受损，音盆还算完好，我就把纸折边都去掉了，只留下音盆部分再利用。称了一下重量12.2g ，对于12英寸的扬声器来讲，这个重量算轻的了。

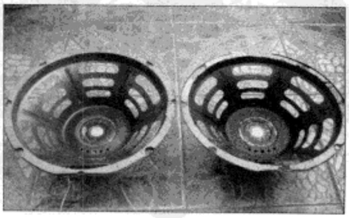


05 这是拆下的弹簧片，已经发脆，弹性很差，是不能再用了。看来这对扬声器只有盆架、磁路、音盆是可以再利用的，其他的部分都得重新制作。

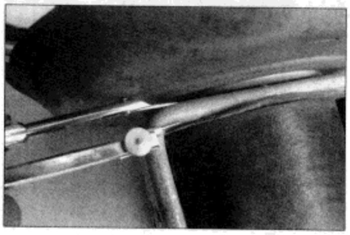


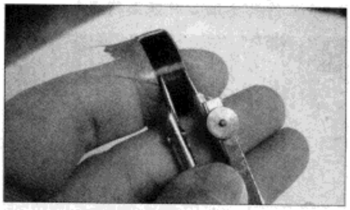
06 想好改造方案后，开始行动：首先清理磁路，这对扬声器的磁隙宽度只有1mm，相当小，我用很薄的塑料片粘上一层双面胶插在里面转动来清理。由于没有防尘帽的保护，里面的脏东西很多，清理了几次才彻底弄干净。

07 清理干净后磁路上面用透明胶带纸封上。

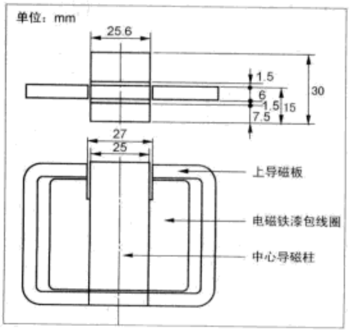


08 接下来必须做的工作是测量分析磁路和音圈，为了更精确，我先用圆规的两个针尖量好距离，再用尺量两针尖之间的距离，测量后发现这扬声器的线性行程非常短，只有上下0.5mm，难怪它音盆的折边绷得这么紧，重新改造的扬声器我打算把线性行程加大到上下1.5mm。

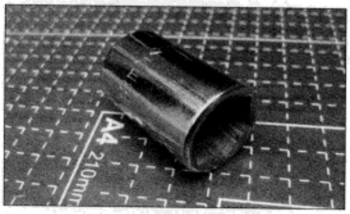




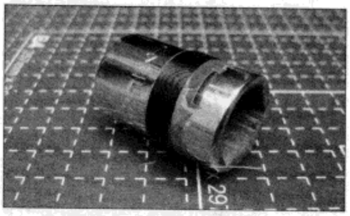
09 这是仔细测得的结果，根据这个结果，我得到了重做音圈的一些必要数据：骨架直径25.6mm，骨架总高30mm，音圈线从7.5mm处向上绕，绕到16.5mm处停，绕线高度是9mm，因上导磁板的厚度是6mm，所以最终得到的音圈最大线性行程是上下1.5mm，音圈线下面留7.5mm的距离是为了正确定位音圈在上导磁板的高度。若看了图还不明白的朋友可以去查看本刊2009年第4期《自己动手造耳机三步曲之一：手工打造动圈耳机单元的尝试》一文，该文对这个定位音圈高度的方法有详细的解释，这里就不再多写。



10 找了一个规格18mm的不锈钢套筒，非常巧的是它的直径正好可以容纳这个音圈骨架。

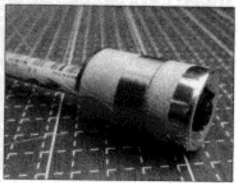


11 我把原音圈套进去试了一下，哈哈，不大不小，正正好，省了我很多事。

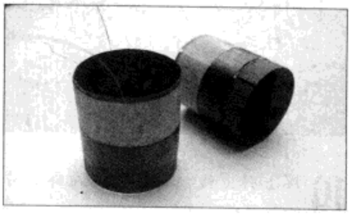


12 绕了几个试了一下后，最终决定使用0.15的漆包线来绕制音圈，是QA直焊线。

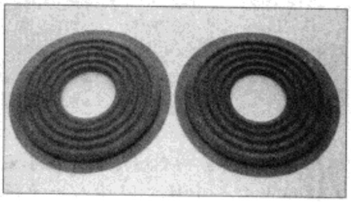
13 和原音圈一样，骨架还是用牛皮纸，我用的是标号120g的牛皮纸，裁成长8cm、宽3cm的长方形，卷住不锈钢套筒。画上各个高度的辅助线，接缝处暂时用胶带固定。在绕线高度的那一段涂上一层薄薄的环氧树脂，然后就仔细的把漆包线绕上去，要排列紧密。环氧树脂一般半小时后会变得很稠，1小时后会变硬，所以每个音圈的绕线工作最好要在半小时之内完成。



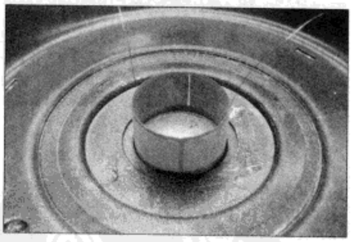
14 绕线完成后在漆包线的外面再涂上一层环氧树脂，取下暂时固定用的胶带，用纸带涂上胶粘一圈固定，等12小时胶干透后取下音圈，这是最终完成的。



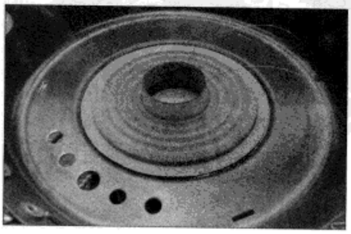
15 这是我选用的弹簧片，大小和原来的差不多，这对弹簧片适合小功率的全频扬声器。



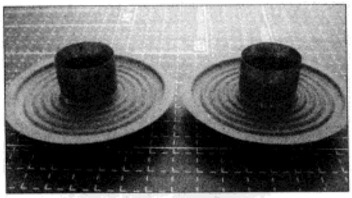
16 把音圈放入磁隙中，放到底后，根据我之前的计算，音圈线会高出上导磁板1.5mm，这就是音圈线下面多留7.5mm高度的作用，这高出的1.5mm其实就是音圈向下的行程。



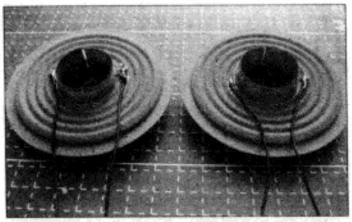
17 放入弹簧片，放平整，然后在弹簧片和音圈骨架的接合部分涂上一圈胶。



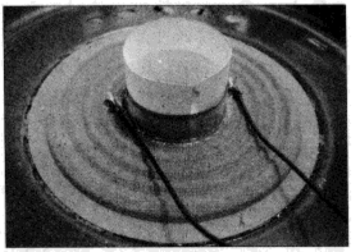
18 等胶干透后拿出音圈和弹簧片，反转过来，把那个之前多加的7.5mm剪掉，我剪掉了6.5mm，留下1mm高度。



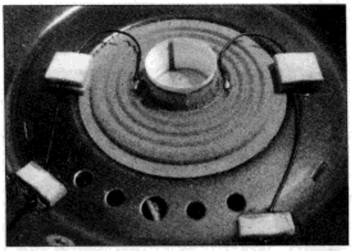
19 焊上引出线，把线头粘在弹簧片的最里面一圈。



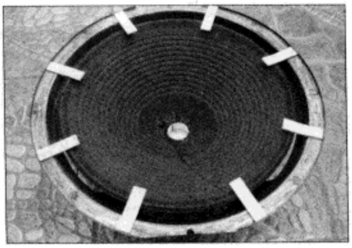
20 再把音圈放回到磁隙里，在音圈和中心导磁柱之间插入一圈纸片，然后把弹簧片粘合在盆架上。



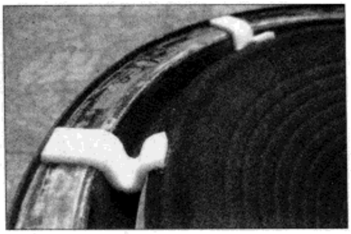
21 音圈引出线的走线要合理地布局一下，一般作法是从音圈通到音盆后再引出到接线柱，而我是从盆架底部直接引出到接线柱上，这样可以尽可能地减轻音盆重量。



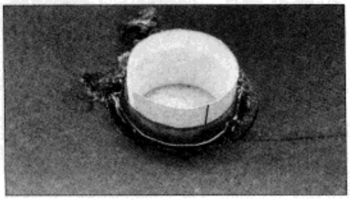
22 把音盆套入音圈，在盆架边上以音圈为中心均匀粘上8条泡沫海绵条。



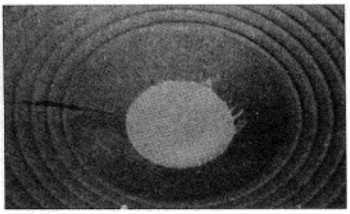
23 把泡沫海绵条弯成这样的形状，涂上胶与音盆粘合在一起。



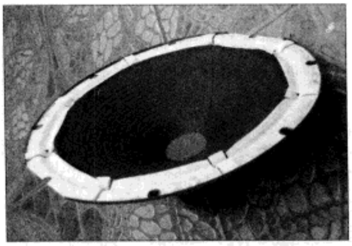
24 8条都粘完后，仔细检查音盆是否在盆架的中心，若是在正中心了，就在音圈与音盆的接合处涂上一圈胶固定。



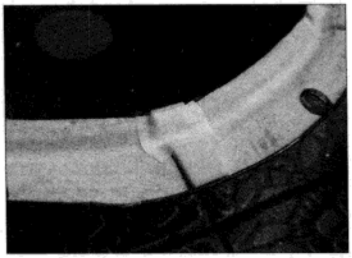
25 等胶水完全干透，这时才可以取出插在音圈和中心导磁柱之间的那一圈纸片，然后我找了一块红色的无纺布剪成圆形粘在音圈上面，这样做一是为了防止灰尘杂物进入磁隙里；二是无纺布是透气的，可以减少扬声器的前腔效应。



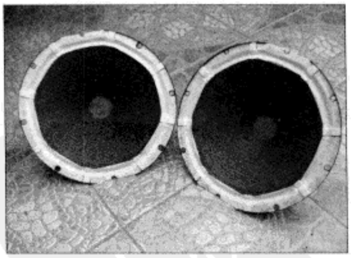
26 把音盆和盆架之间的空隙用棉纸或棉布覆盖，我用了8片覆盖在泡沫海绵条之间。



27 看看细节，棉纸或棉布要有一定的弧度，因为音盆是需要上下运动的，反正所有缝隙都要填补上，这一步工作只要细心就能做得很好。

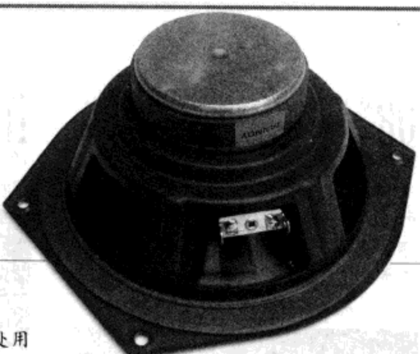


28 这是最终改造完成的一对扬声器，本该卖给废品收购站的一对扬声器又重获新生了，听了一下声音还是不错的。



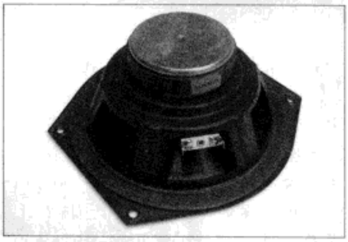
这个扬声器的改造办法都是本人自己摸索的，也一定会有不足之处，家里有废旧扬声器的朋友可以试试，若改造成功了，不但可以废物再利用，最重要的是得到了一种乐趣，大家若有更好的方法，希望也拿出来一起分享。

巧修中低音扬声器



◎倪文贤

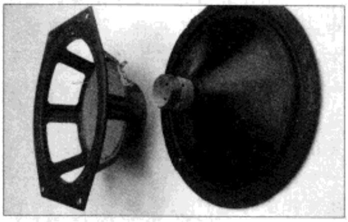
01 有个朋友的一对进口音箱出了问题，箱中的低音单元没有声音了。说实话扬声器我修得不多，进口的碰得就更少了，但看在朋友的情分上，死马当活马医吧，办法总会比困难多的，试一试吧。当天朋友就把扬声器拿过来了，原来是英国的天朗（TANNOY）8英寸中低音单元。



02 用万用表测不到扬声器的电阻，初步判断是音圈或引线部分出了问题，仔细观察，发现原来是音圈的引出线断了，这根线断的不是地方，断头隐藏在了弹簧片下面，不拆开扬声器是没法修的。经过仔细地思考，决定让弹簧片保持原位不动，把音圈从弹簧片分离出来，把橡胶折边从盆架分离出来，这样就可以取出音盆和音圈。

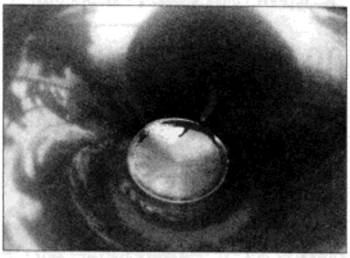
03 我先在音盆和盆架同一位置处用笔做了两个自己可以辨认的记号，为的是装回时可以原路返回，然后用香蕉水涂在橡胶折边与盆架的接缝处。因为香蕉水很容易挥发掉，就反复涂了很多次，浸泡一段时间后，胶变软了，这时用一把美工刀轻轻地从接缝处插进去，慢慢地移动刀片绕盆架一周，橡胶折边就能和盆架分离了。

04 同样用香蕉水浸泡音圈与弹簧片的接触部分，等胶变软时就可以轻松地拔出音圈，弹簧片还是完好的。

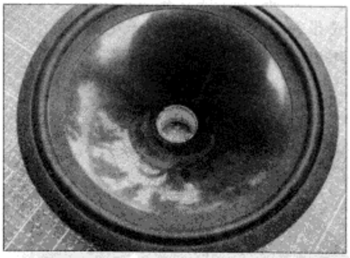


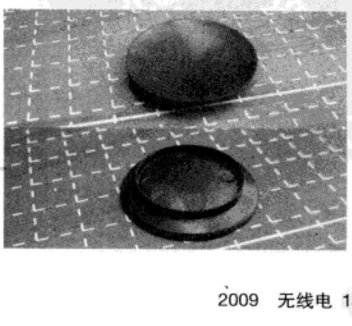
05 该扬声器使用多年了，清理一下磁路是有必要的。把塑料衬板剪成条状，两面粘上双面胶，插进磁隙中仔细地清理，若内有杂物的话，其杂物就会被粘出来。

06 接下来的工作是取下音盆的防尘帽，在这个过程中遇到了一点小问题，用了很多香蕉水，浸泡很久，还是无动于衷。看来只能动用“暴力”了，找了一把1.4mm的一字小螺丝刀慢慢地撬防尘帽的边。

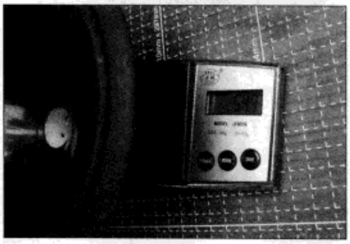


07 几番周折后，终于把这个防尘帽取下来了。该防尘帽很特别，像是塑料材质，它是卡在音圈里再粘上胶固定的，卡得很紧，怪不得这么难取下来。好了，“解剖”工作到此结束，接下来要实施“手术”了。

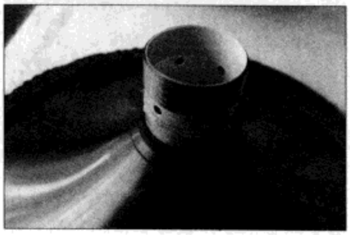




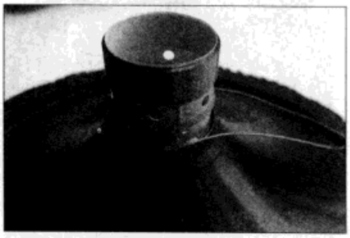
08 难得有机会接触到进口的扬声器，当然不能放过这个机会。仔细揣摩一下，先称体重，盆连音圈折边共54.9g，8英寸的扬声器也算是重量级的了。再看音盆，盆形是指数型的，锥部刚性很大，越往边缘越柔软，是一个逐步渐变的过程。盆的边缘比中心要厚一些，是个非常特别的设计。

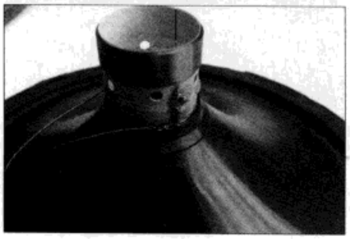


09 音圈看起来是圆铜线绕了4层，找到了音圈线断头的位置。



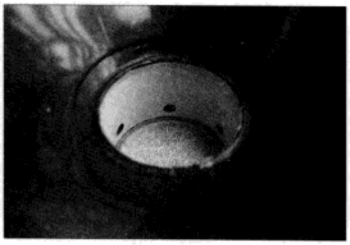
10 把很多细小的漆包线搓在一起，变成较粗的多股线，再仔细和音圈线上的两个断头焊接在一起。焊牢后用树脂固定在音圈骨架上。这一步是很关键的，一定要确保牢固。



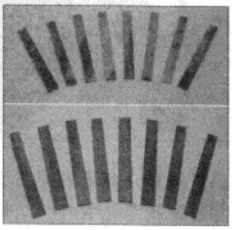


11 把音盆和音圈按事先做过的记号原路装回，这个过程是比较容易的，只要把音圈放入弹簧片中心孔，橡胶折边在盆架上放平就行了。

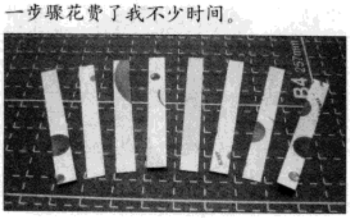
12 确定音圈是自然放平后，在音圈与中心导磁柱顶部相平的位置画一圈黑线，这是为了接下来准确定位音圈高度用的。



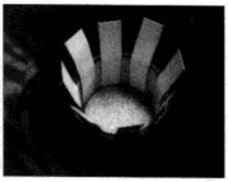
13 因为没有专用的音规来定位音圈，我就找了不同厚度的材料剪成条状插在音圈与中心导磁柱的空隙中进行试验。试了几种，都不理想，不是厚了，就是薄了，但还是要很有耐心地慢慢找，因为这是很关键的一步，直接决定修理的质量，搞不好就会功亏一篑。



14 最后从一本杂志上剪下来的这些纸条比较理想，厚度刚刚好，这一步骤花费了我不少时间。



15 把8片纸条仔细地插入磁隙中，因弹簧片和橡胶折边是可以上下活动的，在插入纸片的过程中由于磨擦力的作用，音圈是会被带着下沉一些，这时之前在音圈上画过的那一圈黑线就起作用了，等8片纸均匀放入后，轻轻向上拉动音盆直到那圈黑线和中心导磁柱的最顶端对齐。



16 在音圈和弹簧片的接合处涂上一圈环氧树脂，把橡胶折边涂上胶，使其与盆架粘合，两个音圈引线的出口处用棉纸覆盖，主要是防止灰尘的进入，把引出线焊接好，并把引线弯成一定的弧形以增加弹性。

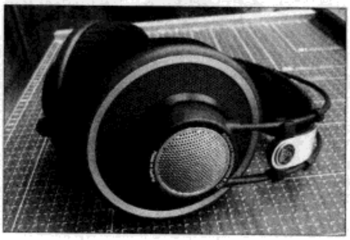
17 等胶水完全干透后，取出8片纸片，在防尘帽上涂一层胶嵌入音圈中，到此扬声器修复工作基本完成了。最后检验一下修理的效果：用手轻轻按压音盆两边，没有擦音圈的感觉，接上功放，开到一定音量，声音一切正常，修复成功！

通过这次的修理，使我认识到了：在了解扬声器的一些基本知识的情况下，要做好周密的流程安排，只要胆大心细，修理扬声器并不是一件难事。另一位朋友得知此事后也送来了一对扬声器请我帮忙修理，这是一对很老的古董励磁全频，年代久远，音圈都烂了，看来又得挑战一下自我了，我会把修理过程记录下来，有机会再和大家分享。

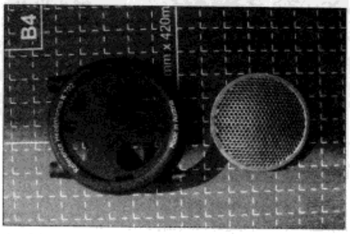
◎倪文贤

AKG K702耳机的拆解与修理

01 AKG 是知名的耳机品牌，生产过很多款经典耳机，如:K1000，K501，K601，K701 等，而 K702 是最新推出的高端耳机，很想听一听、看一看这款最新的耳机。有一天，机会来了：有位朋友买了一副，没用多久居然坏了，一个声道的声音突然变得非常轻。他知道我会做耳机就向我求助，我很少修这类耳机，抱着试一试和帮朋友的心态就答应了。没几天耳机就到了我手里，这款耳机的外观和做工确实不错。



02 开始拆解耳机，寻找问题的根源。这款耳机我是第一次碰到，所以每一步的拆解都非常仔细，每拆一步都拍照片作为记录，万一忘记了零件的先后次序还能看着照片装回去。

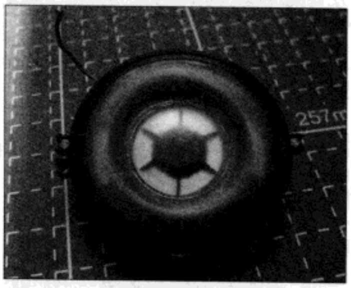


03 耳机的一个单元是通过这两个接头连接到另一单元的，头梁上两根弹性钢片的另一个作用原来是导电传输音频能量的。

04 可以看到下面的单元了，里面的结构看起来还挺复杂的。

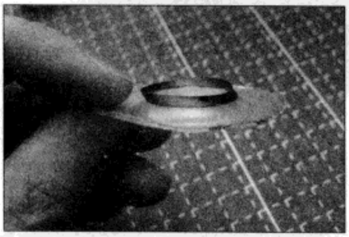
05 继续往下拆，取出这两个零件后，单元就被拿出来了。

06 这是取下的单元，仔细观察并用手轻压振膜，初步判断是音圈失圆了，导致音圈卡在磁隙里无法动弹。

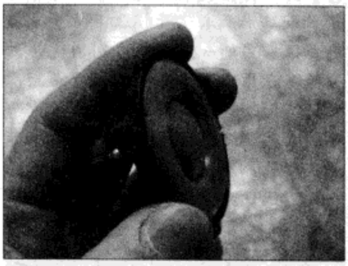


07 要取下振膜才能看到出问题的音圈，根据我以往的经验可以用香蕉水或二甲苯来化开胶取下振膜。首先，很重要的一点是：分别用这两种稀释剂在振膜最边上一圈试一点点，发现二甲苯对这种振膜没有伤害，而香蕉水有一定的伤害，就选用二甲苯来化开胶，取下完整的振膜与音圈。若我不试试，直接用香蕉水的话，那振膜可能就变形报废了。

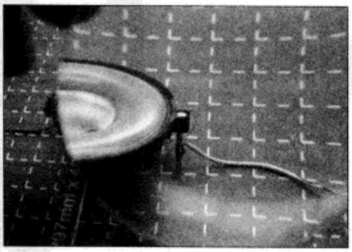
08 这是取下的音圈与振膜，果然是音圈严重变形，整个都斜掉了。音圈线一般分醇溶和热溶两种，若是醇溶的音圈还有矫正的可能。我涂了点酒精在音圈上试了试，很可惜这是个热溶音圈，必须加热才能使音圈软化，但加热的温度足以使振膜变形报废，想了很久都没找到合适的办法来修理这个音圈，只能是换一个新的单元。



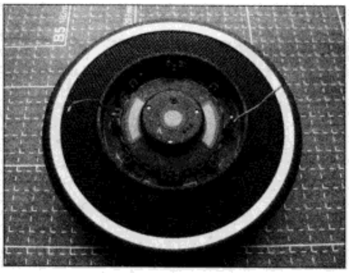
09 等了一段时间，终于想办法弄到了一个702单元。



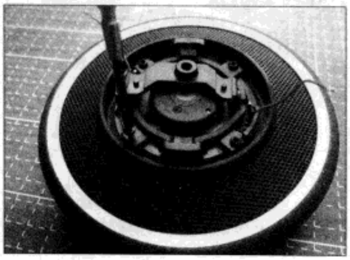
10 只是这个单元也有些问题，起先测量电阻不稳定，忽高忽低的，到后来干脆就量不出电阻了，搞得我满头大汗。仔细查看后发现音圈的一个引出线接头处没有焊牢，线断开了，这个耳机的音圈线非常细，要把它重新焊牢有一定难度，我在放大镜的帮助下接了一根较粗的线再焊在接线柱上，焊接的触点和速度必须控制得非常好，否则很容易损坏单元。大家可以看到放大镜下的那根接线，真可以称为“命悬发丝”。

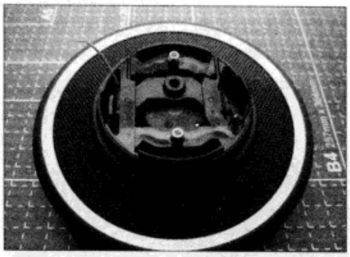


11 放入修好的单元。

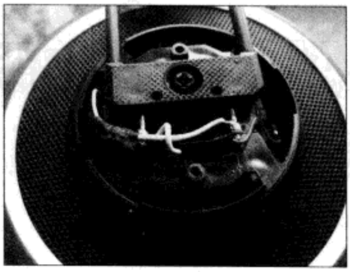


12 装上这些零件，在拆时必须牢记安装顺序和位置。





13 按正、负极接好线，接头处用热缩管包裹。



14 装入另外两个零件。

15 这副耳机终于修复完成了，得到的经验是：拆解和修理耳机一定要非常地小心，不能确定的步骤一定要想办法先做个试验再往下做，因为往往你只有一次机会，做错或做坏了是没有后悔药可吃的。

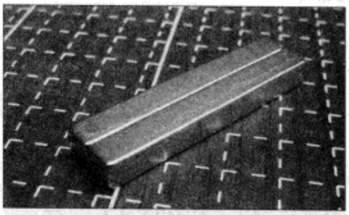
◎倪文贤

手工制作平膜耳机

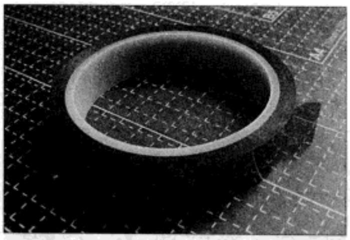
—— 平膜单元的初步制作

编者按：手工制作平膜耳机工序复杂，篇幅较长，所以把整篇文章分成三个部分来讲述：第一篇：平膜单元的初步制作；第二篇：平膜单元的深入制作；第三篇：把完成的平膜单元做成一副耳机。本期为第一篇：平膜单元的初步制作。

01 需要准备两条钕磁体，我买到的这两条尺寸为6mm×6mm×50mm。带式平膜单元比较理想的是采用矩阵推挽磁路，这样可以得到相对平衡对称的驱动力，本期介绍的是初步制作，每个单元只使用一条磁体，而非矩阵磁路。注意：存放和挪动钕磁体要尽量远离对磁性敏感的物品，比如：银行卡、磁盘、电脑主机、显示屏、电视机、手机等。

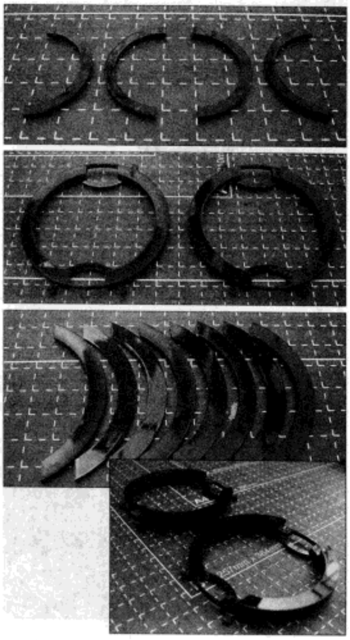


02 准备一卷耐高温KAPTON 胶带（聚酰亚胺薄膜胶带），宽度为20mm。

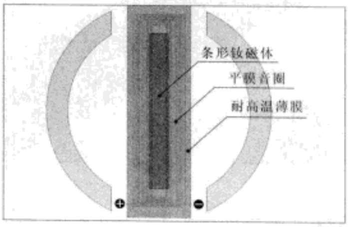


03 准备 Φ0.07 的漆包线，我买到的这种QA线的耐温为155℃。平膜单元最好是把铝膜加工成细线作为音圈线。但在业余条件下，要把极薄的铝膜加工成非常细的导线是相当困难的。作为初步制作先是采用很细的漆包线来代替铝膜，这样就降低了难度，提高了可操作性。在下期介绍的深入制作中，将采用加工铝膜来布线，使用铝膜能大大地提高单元的高频响应能力，但制作难度也随之加大。

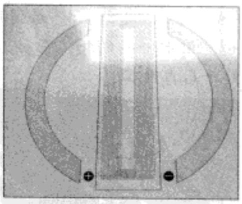
04 首先根据磁体尺寸来设计单元的框架，我用3mm厚的黑色亚克力加工了以下这些零件，再把它们粘合在一起成为整体。单元的框架只要结构合理，外观不一定要局限于我这种。



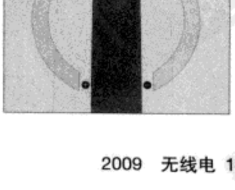
05 根据磁体尺寸绘制平膜音圈的尺寸和布线图，为了保证精度要使用矢量绘图软件，这一步是很重要的，我预期的单元阻抗为8Ω左右，Φ0.07的漆包线每米的直流电阻约为4.5Ω，所以整个平膜音圈在KAPTON膜片上的走线长度应为1.7m左右，也就是要把1.7m长的漆包线合理布局在钕磁体的周边。



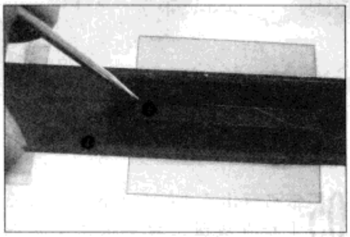
06 用高精度的照片打印机按1:1打印在照像纸上，以确保音圈布线图的精度。



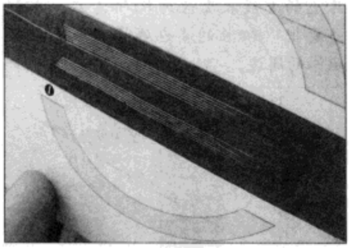
07 在图片上音圈线的部分覆盖一层透明胶带作为保护，把KAPTON胶带剪一条粘在布线的区域，注意：KAPTON胶带要反过来粘，有粘性的一面朝上。



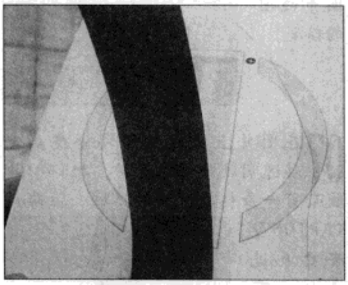
08 我先在另一张打印出来的音圈布线图上试绕音圈，线与线之间的距离是相当的小，绕这个音圈是对动手能力的挑战和考验，直接用手很难操作，我用了一根牙签来辅助，只要有足够的耐心和细心就一定能做好，绕第一个音圈我用了2个多小时。



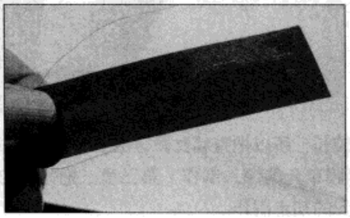
09 有了前面的一步，正式绕制时就得心应手了，排线更加整齐，速度也更快,这是绕到一半时的排线情况。



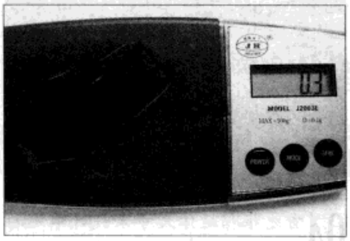
10 完成后，在膜片的周边涂上一层薄薄的环氧树脂，然后在上面再粘上一层KAPTON薄膜，这次是有粘性的一面朝下，和下面一层薄膜粘合在一起，用重一些的物体压住2个小时等树脂干后再取下。



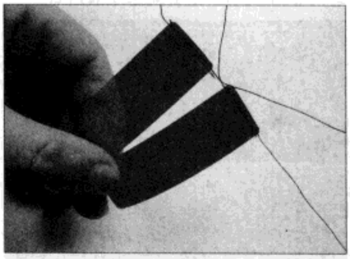
11 把两头多出来的部分剪掉，一片全手工的薄膜音圈完成了，根据所使用的材料特性，这个音圈可以耐温155℃，足够满足耳机单元的使用需求。



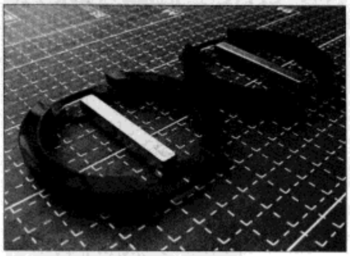
12 称一下重量是0.3g ，略微偏重了一些，若用铝膜来做音圈的话还能更轻。



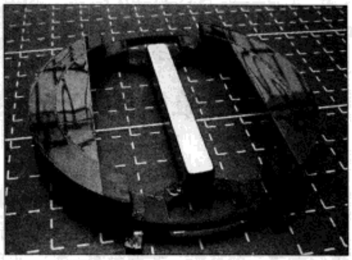
13 给平膜音圈接上引出线，粘合在膜片的边缘部分。



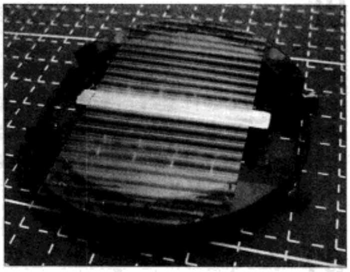
14 把钕磁体粘合在框架上，注意区分一下S极和N极，粘合时两个框架上的极性朝向要一致。



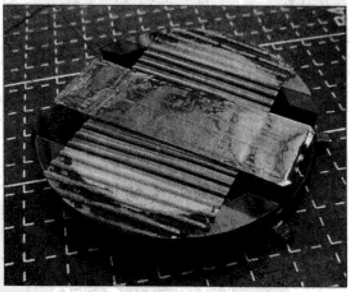
15 在框架上如图所示的位置粘上一层KAPTON薄膜。

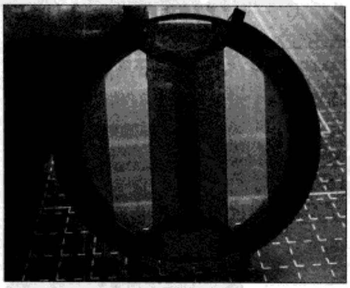


16 再粘上一层波浪形的塑料薄膜。



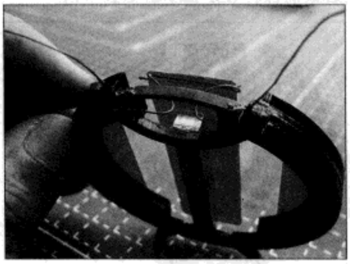
17 把平膜音圈粘合在波浪形塑料薄膜的上面，粘时要把音圈的中心对准下面的钕磁体，从下图两个不同角度看看粘合的情况。



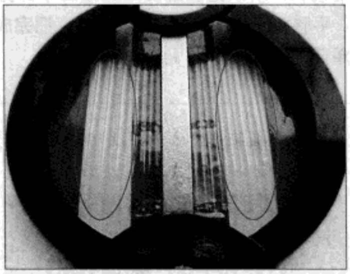


18 从这个角度来看看这些元件之间的关系：(1) KAPTON 薄膜音圈是会卷曲的，当它和波浪形的塑料薄膜粘合后就不会发生卷曲了，可以和下面的钕磁体保持平行。(2) 波浪形塑料薄膜具有一定弹性，并且离开下面的钕磁体有一小段距离，这样可以使粘合在上面的薄膜音圈在一定范围内上下运动，使音圈具有一定的行程。(3) 波浪形塑料薄膜在薄膜音圈的带动下成为了振膜的一部分，增加了振动面积，增强了单元的低频输出能力。

20 把音圈引出线弯成弧形以增强弹性，并固定在框架上。

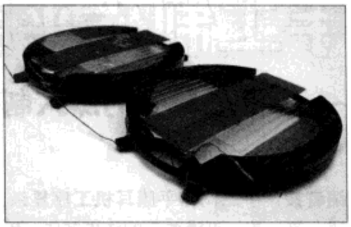


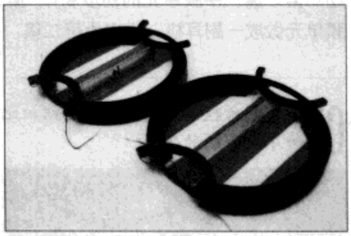
19 可以通过调整背后的波浪形塑料薄膜来调整弹性，减小振动幅度，这一点怎么做好，还是留给大家去思考和尝试了。有两个重点要注意：（1）振膜要尽量贴近钕磁体，这样可以提高单元灵敏度。（2）振膜的振幅不要过大，能小尽量小，这样可以降低单元的失真。这需要自己慢慢地调整，直到一个最佳的折中状态。



21 测一下直流电阻为8.6Ω，减掉万用表的起始电阻1.1Ω，音圈为7.5Ω，基本符合我的预期设计。

22 这对初级平膜单元的完成图，正面与反面。





结语：这对平膜单元是一个最初步的尝试，我采用了尽可能简单的材料和制作方法，把难度降到最低，提高业余条件下可以制作出来的可能性。当然也存在很多的不足，有心的朋友可以去进一步改良提高，比如可以使用矩阵推挽磁路来提高灵敏度，降低失真，可以用铜包铝线、铝线、或用铝膜加工成细导线制成音圈来拓展频宽等。在下一期我将进一步做深入制作，其相对的制作难度也会增大。

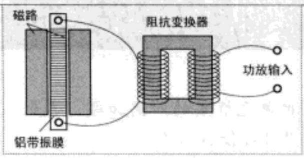
相关知识链接

关于平膜单元

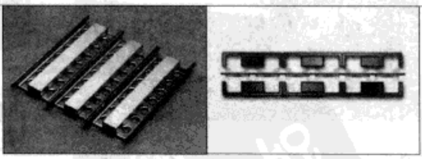
平膜单元其振膜是平面的，而且是很薄的，主要分为三大类：

1. 静电型

利用静电场的互相作用来驱动振膜，振膜本身就是驱动体，可以达到全面驱动的理想状态，原理简单，但制作的工艺要求相当高。



铝带型单元



丝带型单元

2. 铝带型

声音信号通过一条非常薄的铝带产生电磁场，与周围的永磁体互相作用发声，这种发声方式振膜本身也是驱动体，也可以达到全面驱动的状态，但阻抗非常低，不能直接用功放驱动，必须接入一个变压器来变换阻抗。

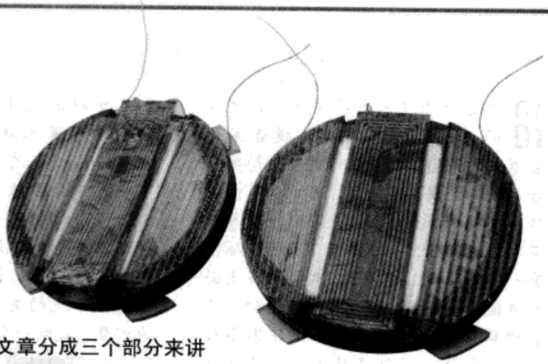
3. 丝带型

把很薄的导电材料（一般是铝膜）做成平面的音圈粘合在很薄的绝缘膜上成为一体，通电后产生电磁场与周围的永磁体互相作用发声，音圈在整个振膜上所占的面积相当大，接近全面驱动的效果，可以达到相当优异的高频响应。

◎倪文贤

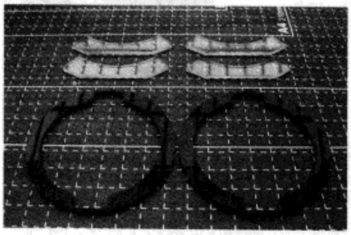
手工制作平膜耳机

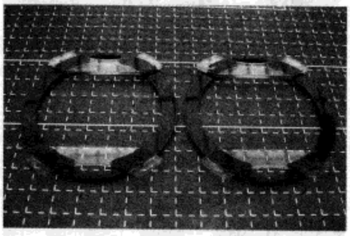
——平膜单元的深入制作



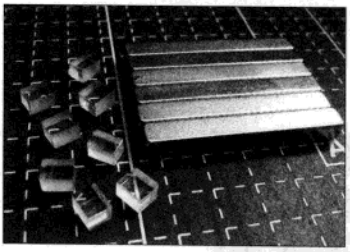
编者按：手工制作平膜耳机工序复杂，篇幅较长，所以把整篇文章分成三个部分来讲述：第一篇：平膜单元的初步制作 第二篇：平膜单元的深入制作 第三篇：把完成的平膜单元做成一副耳机。本文为第二篇：平膜单元的深入制作。

01 首先制作框架，与上期的介绍相比，这次制作对框架略作了一些改动，主要是为了配合新的磁路。

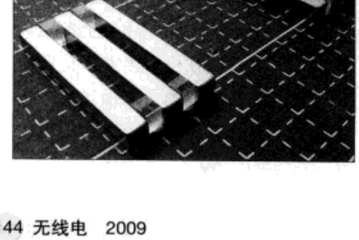




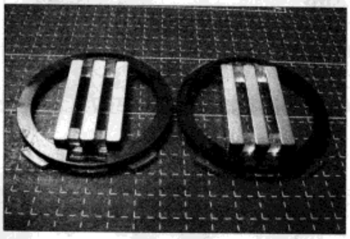
02 这次的磁路使用了6条钕磁体，每个单元3条钕磁体阵列，用5mm厚的亚克力切了8个小方块，用来配合做磁路。



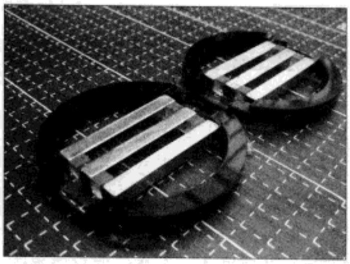
03 把小方块和钕磁体如图所示进行一隔一的阵列，并黏合在一起。



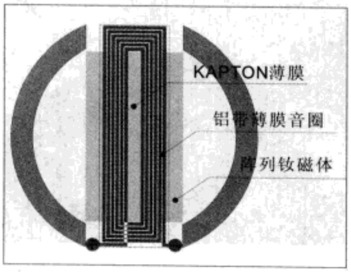
04 把完成的磁路和框架粘合在一起，注意极性不要搞错了。



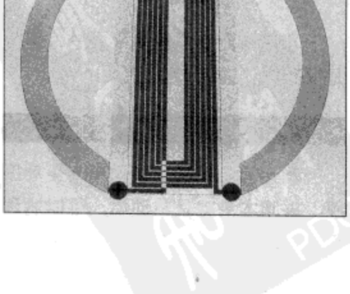
05 把单元框架的外圈加厚，直到高度超过钕磁体约2mm。



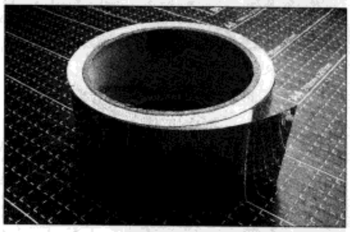
06 这次将使用薄膜铝带作为音圈导线，所以对平膜音圈的布线进行了重新设计。设定薄膜铝带的宽度为1mm，因为按我手工的加工能力，1mm的宽度已接近极限。设定音圈的阻抗为4Ω左右，计算得到薄膜铝带的总长度应为1m左右，然后把1m的长度均匀分布在磁隙之间，使用矢量绘图软件对图形进行多次调整后得到下图。



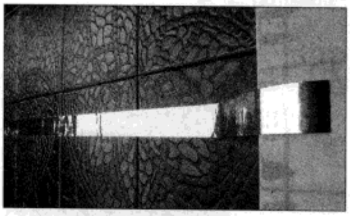
07 用高精度的照片打印机把图片打印出来。



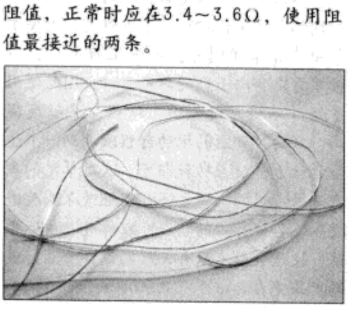
08 去买了一卷铝箔胶带，这种胶带一般用在保暖设备或暖通管道上。有多种厚度，一定要买最薄的那种，记得当我去买时要求买最薄的，老板还向我推荐用厚的好，更耐用，我只对他笑笑，他怎么也不会想到这个胶带将用来制作成耳机单元的核心部件。



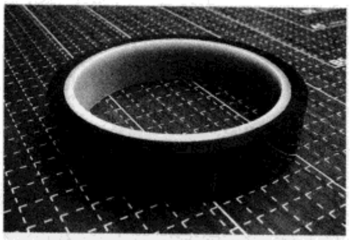
09 剪一条大约1.2m长的铝箔胶带，拿取时一定要小心，不要过度弯折，以免损伤了铝箔表面。



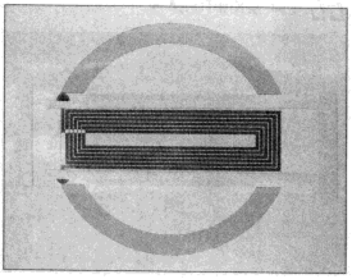
10 接下来很关键的一步是要把1.2m长的铝箔切成宽度只有1mm的铝条，宽度可以略小于1mm，比如0.9mm，但不能超过1mm，否则排线时会出问题。这一步是具有一定难度和挑战性的，若做不好的话下一个步骤就没法继续，有兴趣制作的朋友只能多切几条试试了。工具可以使用美工刀或剪刀，本人在试切了十几条后才开始切的不错，实际制作中也是需要多切几条的，然后分别测量每一条的阻值，正常时应在3.4～3.6Ω，使用阻值最接近的两条。



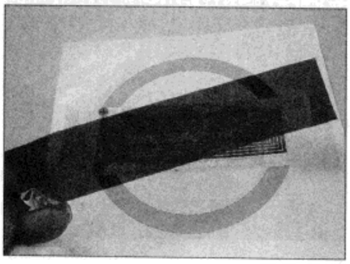
11 准备一卷宽度为20mm 的KAPTON耐高温胶带。

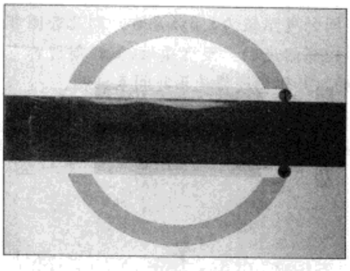


12 在打印出来的音圈布线图上覆盖一层透明胶带作为保护，然后在音圈线的周边粘上一层双面胶。

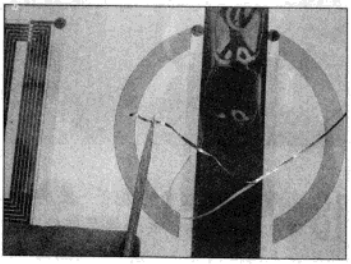


13 剪下一条KAPTON胶带，有黏性的一面朝上，和下面图上的双面胶带粘合在一起，以确保接下来布线时KAPTON胶带不会移位。

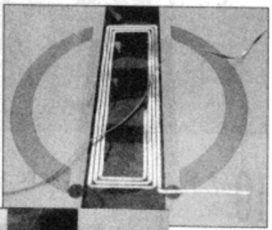


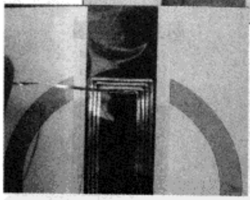


14 接下来是最核心的一步：大家看看切好的铝箔胶带，拉掉背后的纸，胶带上有一层胶，把铝箔胶层和KAPTON的胶层粘合在一起，要对准下面的布线图一条线一条线仔细地粘，这么薄又这么窄的铝箔胶带是非常脆弱的，稍一大力就可能断掉，操作时必须非常小心，要细心再细心，耐心再耐心，我使用一根牙签来辅助操作。

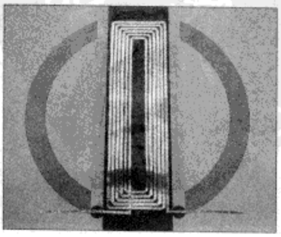


15 这是绕到差不多一半时的状况，大家可以注意一下布线的一些细节，特别是拐角处，只要严格按图排线，线与线之间的距离是可以排得很均匀的。

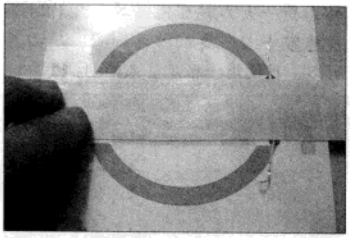




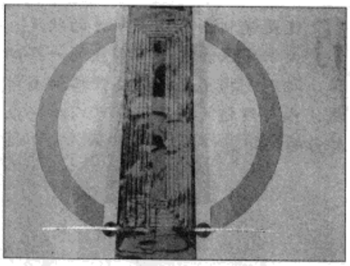
16 完成了！大约花费了一个小时，最后引向正极的那根铝带在穿过下面的铝带前，先要垫上一层绝缘材料，或可以考虑穿过KAPTON薄膜从背后引出。



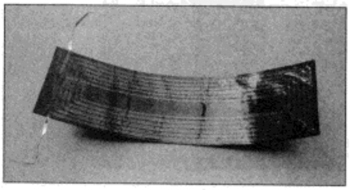
17 找一条宽度超过20mm的双面胶带，去掉胶层部分，把那一层涂过蜡的纸放在平膜音圈上，然后用手指来回按压，目的是使铝箔条和KAPTON胶带粘合得更加紧密，注意不能使用一般的纸，不然会粘住下面的胶带。



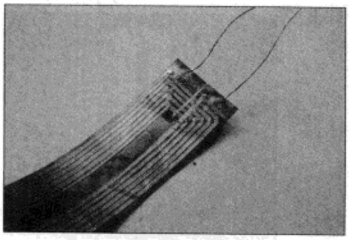
18 沿着KAPTON胶带的边涂一圈约1mm宽的环氧树脂，要涂得尽可能薄，然后在上面再粘合上一层KAPTON胶带。

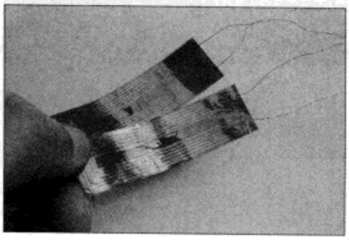


19 等胶干后，就可以取下平膜音圈。



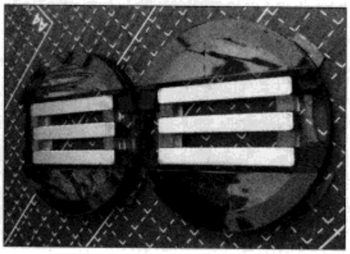
20 在音圈的两极接上引出线，测得两极之间的电阻值为3.6Ω左右，到此音圈部分的制作完成了。这对音圈是可以耐受较高温度的，至少是150℃，周边都有一圈环氧树脂，两层KAPTON的粘结也是牢固的，具体的还得使用时间来证明。



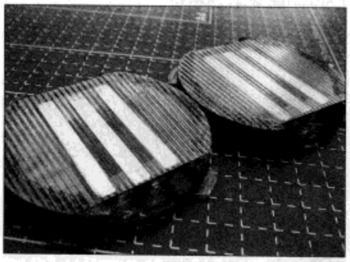


21 音圈连引出线重0.2g，比上一期制作的音圈轻了一些，不要小看这一点点减轻的重量，对声音的影响是挺大的。

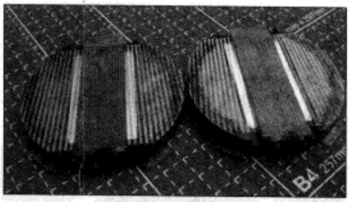
22 如图在单元框架的这个位置黏合上一层KAPTON薄膜。



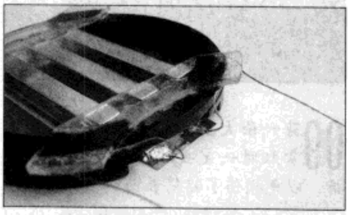
23 上面再粘合上一层波浪形的塑料薄膜，这次我使用了波浪更小更密集的薄膜。



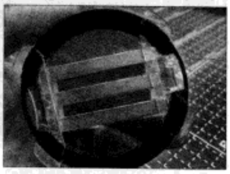
24 把平膜音圈粘合在波浪形薄膜的上面，两排音圈排线要对准下面磁路的空隙。

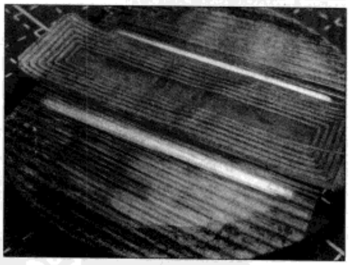


25 把音圈引出线弯成弧型以增加伸缩性，并固定在框架上。



26 一对平膜单元完成了，看看正面与反面。





结语：与2009年第10期的制作相比，这期的单元制作增加了不少难度，主要是集中在铝带薄膜音圈的加工难度上，但效果肯定会比上期的单元更好。因为使用了矩阵磁路，使驱动力增强，灵敏度提高，只要把音圈的振动行程细调到一个适当的位置，接上功放即可。这对单元的声音是很不错的，单元还可以继续深入改进提高，各位有心的朋友可以作进一步地尝试，使这个原本只有工厂的设备才能完成的产品变为真正可以业余DIY的东西。

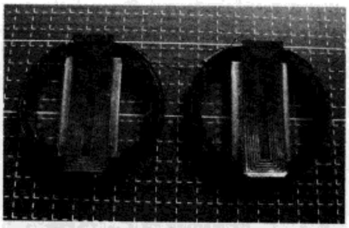
手工制作平膜耳机

——把完成的平膜单元做成一副耳机

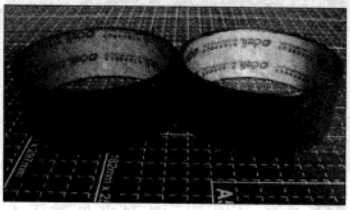
◎倪文贤

编者按：手工制作平膜耳机工序复杂，所以把整篇文章分成三个部分来讲述：第一篇：平膜单元的初步制作；第二篇：平膜单元的深入制作；第三篇：把完成的平膜单元做成一副耳机。本期为第三篇：把完成的平膜单元做成一副耳机。

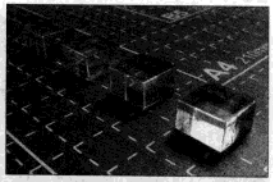
01 这是2009年第11期所完成的平膜单元，我对单元的运动部分进行了细调，主要是调整透明波浪形薄膜的弹性来控制振膜的最大振幅。

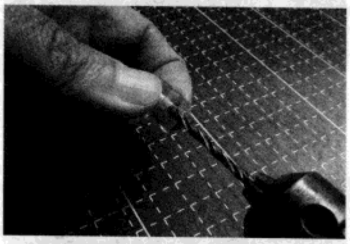


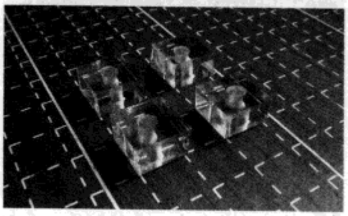
02 找了两个透明胶带的芯子用来做耳机的壳体，要用质量好一些的，把高度切成32mm左右，在胶带芯子的里外层都涂上一层防水的胶水。



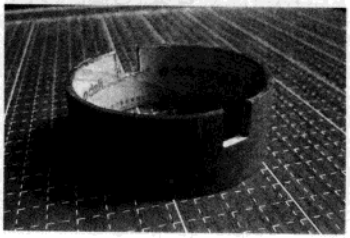
03 把5mm厚的透明亚克力切成12mm×12mm的小方块，并在中心打上孔。



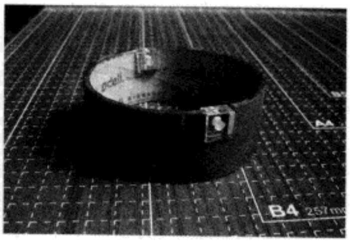




04 用角磨机切割胶带芯，在如图的位置切出12mm×12mm的方块，角磨机转速较高，使用时一定要注意安全。

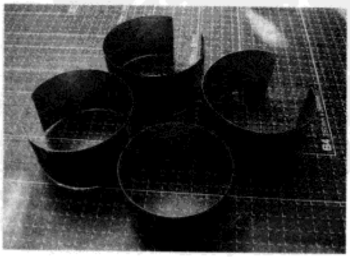


05 把亚克力方块嵌入到胶带芯里，用环氧树脂在胶带芯的里层粘合。

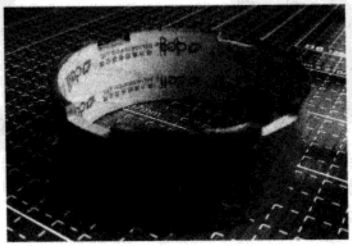


06 接下来的任务是休息一下，放开肚皮喝掉两个易拉罐饮料，才能进行下一步制作。

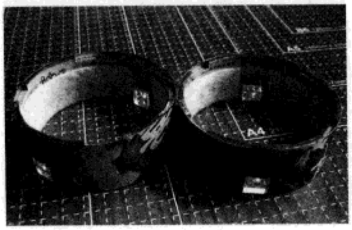
07 把喝完的易拉罐用剪刀剪开，如图剪成4个，每一个的高度都要超过32mm才行。



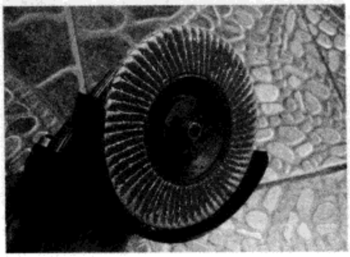
08 在胶带芯的另一头用角磨机切出如图所示的4个方块，方块的位置大小取决于平膜单元外圈的4个突出部分。



09 在胶带芯的外圈黏上一层易拉罐的铝皮，并把高度修剪一致，在胶带芯的里圈黏合一层棉。

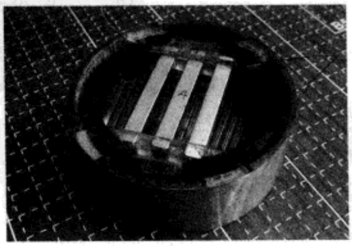


10 把角磨机换上磨光用的细砂轮，对易拉罐的外层进行打磨，把印在表面的图案全部磨掉，并抛光。

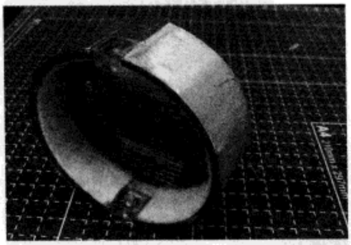


11 这是磨光后的表面，金属的光泽显露出来，感觉不一样了。

12 把平膜单元装入壳体中并黏合住，可以看到单元的外圈有4个突出的部分正好嵌入胶带芯的4个小方块中，这些都是我预先想好的结构，可以使各个部件合理的成为一个整体。



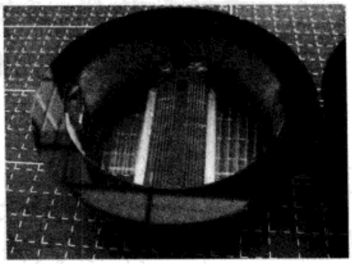
13 从另一个角度来看看装入单元后的样子，大小正合适。



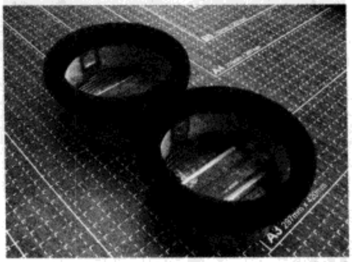
14 每个单元的引出线都焊接上这种插座。

15 插座外面包上一层热缩管，在如图所示的位置把插座和单元黏合在一起。

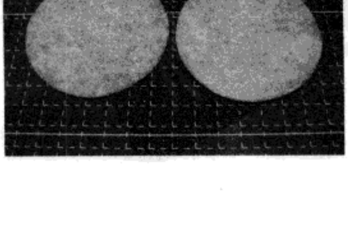
16 在壳体的正面黏合上一层3mm厚的黑色亚克力环。



17 在黑色亚克力环的上面再黏上一层10mm厚的海棉环，这海棉环的加工方法：用硬物做一个模板，压在10mm厚的海棉上，用美工刀沿着模板切出来，然后用剪刀把边缘修剪平整就可以了。加工过程没有什么诀窍，关键是要细心加耐心。

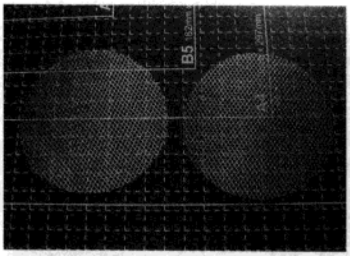


18 用除尘棉（一般超市里都能买到）切两个圆，大小和胶带芯的内径一样。

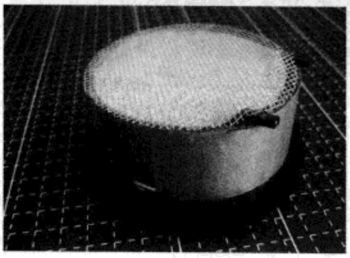


19 把除尘棉粘合在单元的后面，目的是防尘和产生一定的空气阻尼。

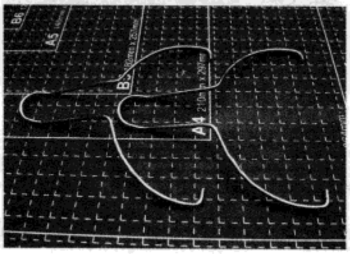
20 到市场上买一些铝合金过滤网，选用孔密度高一些的，剪两个圆，大小和胶带芯的外径相同。

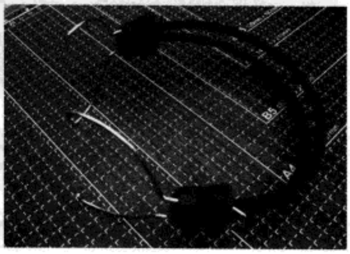


21 把铝合金过滤网黏在除尘棉的外面，用来保护内部的单元。

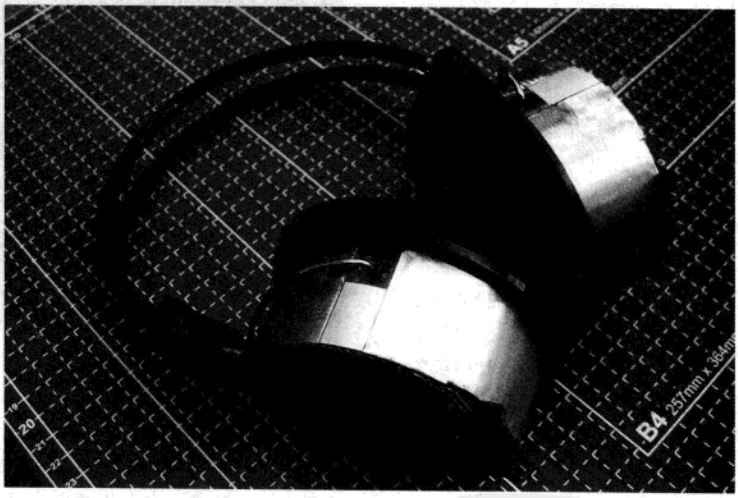


23 我买了一副最普通的网吧耳机，10 元一副，拆下头梁改造，网吧耳机的单元都比较小，而我耳机的单元较大，头梁上两个不锈钢的箍就得重新制作，图中就是我用老虎钳子根据单元的大小重新做出来的不锈钢箍，制作秘诀还是细心加耐心。

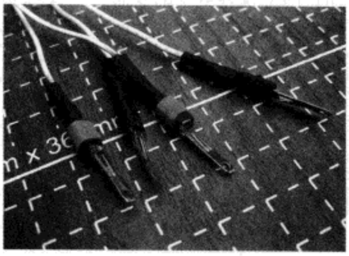


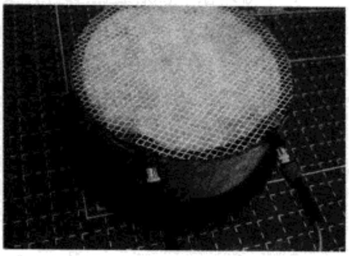


24 把两个耳机壳体套入头梁中，一副手工制作的平膜耳机完成了，除了头梁部分是利用现成材料改造的，其他部件全部是手工打造的。连上线，接入功放（这个耳机只能用功放才能推得动），放了几曲我熟悉的音乐，声音表现：解晰力相当高，细节表现到位，中频比较直白，低频的量有点偏多了，还要对单元的运动部分增加一些阻力以减少振幅，这些细节的部分要根据听感慢慢调整了。



22 把导线接上插头，并包上一层热缩管，做好正、负极的标志，这样就能与耳机上的插座配合使用了，换线很方便。





结语：总体来讲，这副平膜耳机的制作是成功的，使用了日常生活中最普通的材料，把个人的动手能力发挥出来，做出自己想要的东西，我认为这就是DIY的乐趣所在。我会不断地尝试，做出更多有意思的东西来与大家分享。

永远芬芳的牡丹

——我的牡丹942A系列空气双连收音机情结

◎张建雄

说起牡丹，大家的脑海里就会浮现出婀娜多姿的富贵花，喜欢种花的朋友，还会想起牡丹之都洛阳。牡丹花雍容华贵,艳而不俗,柔而不媚,被誉为“国色天香”，牡丹花以她的大富大贵而出名，是我国的国花。

正因为牡丹花深受全国人民的喜爱，北京无线电厂于20世纪70年代生产出了面向大众的九管一波段便携式系列收音机“牡丹942A/944A”。该机大气庄重，采用空气双连作调谐机构，在款式上采用了现代工业设计的方法，后来经过多项改进和创新，该机及其改进机型多次在全国收音机评比中获奖。在1979年全国第七届收音机评比中，四级便携式牡丹牌942A型收音机获一等奖。1979年9月牡丹牌942A型收音机

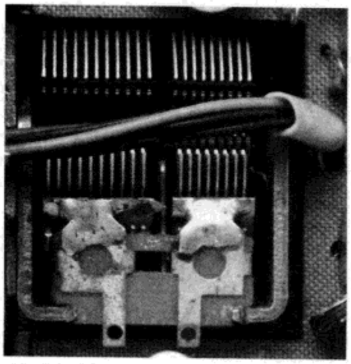


图1 空气双连

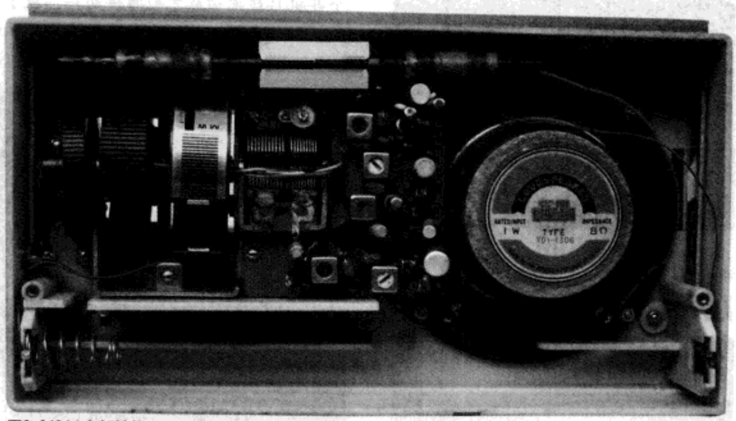


图2 942A1内部结构

被评为北京市优质产品。

“牡丹942A/944A”系列机诞生之时，我还是一个楞头楞脑的小青年，尽管我从小就喜欢盒子里面会说话的收音机，但由于当时的经济情况所限，我只能望机兴叹。随着年龄的增长，对于从小萌生的收音机情结又涌上心头，小时候无法实现的梦想，使我难以忘怀。科技的进步，使电器新产品日新月异，从收音机到录音机、电视机、组合音响，再到VCD、DVD、移动电话（手机）、电脑（计算机）等，只不过用了短短20年的时间。80年代以前会说话的神奇盒子——收音机，渐渐被人们所忘记，尽管收音机淡出了人们的视线，但作为60年代和70年代过来的人，是听着广播、读着《无线电》长大的，对收音机的那份情结，是永远铭刻在心的。

网络的普及，给商品的流通提供了极大的方便，这几年,我花了不少时间在网上找寻童年的梦想，一直对会唱歌的神奇盒子怀有浓厚的感情，特别是对采用空气双连作为调谐部件的收音机情有独钟。

大家知道，普通收音机的调谐是通过改变电容的容量来改变接收电台的频率的，使我们能够在浩瀚的太空中寻找到我们所需要的电台，这个可以改变容量的电容叫可变电容。可

图3 942A的外型

图4 944A的外型

变电容由一组定片和一组动片组成，它的容量随着动片的转动可以连续改变。把两组可变电容装在一起同轴转动，叫做双连（图1）。可变电容的介质有空气和聚苯乙烯两种。空气介质可变电容体积大，损耗小，多用在电子管收音机中。聚苯乙烯介质可变电容做成密封式的，体积小，多用在晶体管收音机中。早期生产的可变电容基本上采用空气介质，由于空气介质可变电容动片和定片之间只有空气，长时间使用后不会出现令人讨厌的“咔嚓”声，收音机爱好者都很喜欢采用空气双连的收音机。同一品牌的收音机，在二手市场上，空气双连的机器和薄膜双连的机器，其价钱要相差1倍甚至好几倍，所以采用空气双连的收音机，爱好者都争相抢购。

我也和大家一样，在网上淘收音机的时候，特别对空气双连的机器感兴趣。由于采用空气双连的机器生产年代久远，现在只能买到二手的机器了。全新的空气双连的机器也有，但那是凤毛麟角，不是一般人所能买到的。有一天，在广播收音机论坛有人在出售二手的牡丹942A收音机，并附有该机照片，我一看该机采用空气双连，外观和里面也还算比较新，价钱也不贵，就毫不犹豫买了下来。尽管我之前已经买了几部采用空气双连的电子管收音机和台式晶体管收音机，但我还没有采用空气双连的便携机。经过漫长的8天等待，牡丹942A终于从上海来到了我家。

打开包裹，取出牡丹942A，卖家的包装还算扎实，路上没有损坏。牡丹942A用4节一号电池供电，整机看起来比较大，机器的上部设计有可伸缩的提手，这是个很人性化的设计，极大地方便了携带。由于我早有准备，提前购买了大号电池，机到后就装上电池准备进行开机试听，装上电池后机器就显得很重了，放在桌上四平八稳的。该机的扬声器很大，用的是4英寸的扬声器，开机接收本地中波强台，“蓬蓬”声马上从扬声器里面传了出来，我把音量开至三分之一处，已经有很大的音量了。不知道是由于该机的扬声器大还是机壳设计得很好，牡丹942A的音质大大出乎我的意料，低音丰满，中音浑厚，高音清晰。虽然是二手机，但使用者保护得比较好，整机的性能与新机相比仍然不相上下。

牡丹942A只有一个中波波段，所以设计上特别突出了接收的灵敏度和选择性，180mm长的磁棒，使牡丹942A接收电波的灵敏度非同凡响。牡丹942A低频部分采用互补对称无变压器功放电路，130mm扬声器，一中放电路采用双调谐回路，用4节一号电池，并采用了温度补偿和稳压措施，降压性能较好（见图2）。

强台的接收，牡丹942A自然是轻而易举，外地弱台的接收性能又如何呢？根据中波电波的传输特性，中波电波要到晚上才能传得远。吃过晚饭，我再次打开牡丹942A的电源开关，调节音量到约一半的位置，再仔细旋动调谐旋钮，慢慢地在嘈杂声中找寻外地弱台的电波，终于找到了不少外地电台。我的接收地点在广东的东北部，用牡丹942A接收到的电台有江西广播电台、湖北广播电台、浙江广播电台等。由于是机械调谐的收音机，无法准确确定这些电台的频率，但从接收的效果来看，牡丹942A的灵敏度是相当高的，可以送他一个绰号：中波王。

据说当时“牡丹942A/944A”系列机是面向广大农村和边防连队所设计、生产的，其设计的宗旨是灵敏度要高，机器要经得起摔打，要用大号电池供电，以方便农村和边防连队能够买到电池。我听一个网友说，“牡丹942A/944A”系列机确实是结实耐用，他说他在当兵的时候，当时的连长用的就是牡丹942A机。有一次连长不小心把正收听中的牡丹942A机从床上摔到了地上，外壳都摔裂了，可机器还在呱呱地叫。

圆了一个小小的童年梦，仍然不能满足我的愿望，我每天不停地在网上找，说是在找收音机，倒不如说是在找一个个童年的梦。前后3年时间，我在网上购买了5台“牡丹942A/944A”

图5 IC942A的外形

牡丹942A系列收音机的一些技术指标：

频率范围：525～1605kHz

灵敏度：不劣于1mV/M

不失真功率：约300mW；最大输出功率：500mW

选择性：不劣于26dB

电源消耗：无信号时不大于20mA，不失真功率不大于100mA

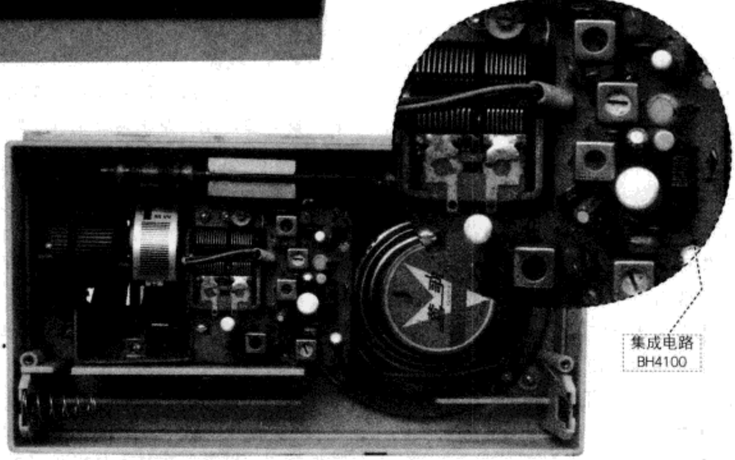


图6 IC942A的内部结构

系列的空气双连收音机，其中两台牡丹942A，2台牡丹944A，一台牡丹IC 942A。有一台942A送给了武汉的好友，另有一台944A由于有故障和外观太旧，只能作配件机了。留在我手上的3台牡丹空气双连机，都能正常收听。

牡丹942A与牡丹944A除了外观略有不同外，其内部电路和性能指标都是一样的。942A机的牡丹标牌的位置是在扬声器面板的左上角（见图3），而944A机的牡丹标牌的位置是在扬声器面板的左边正中，并略比面板高出一些（见图4），我个人的感觉，还是942A的面板好看一些。牡丹IC 942A（见图5）则采用了一块BH4100集成电路（见图6），取代了收音机的低频放大电路的晶体管，成了晶体管和集成电路混合机（其中高、中频用了3个晶体管，低频用了一块集成电路）。由于找不到IC 942A的电路图，具体的性能指标就不太清楚了，个人感觉与全晶体管的942A机差不多。

童年的梦想似乎很遥远，但却很美丽，年过半百，每天都在寻找童年的梦想，每当找到了一部儿时喜欢的收音机，就圆了一个儿时的梦。在这里要感谢《无线电》杂志，是她托起了我的童年的梦，还是她，不断圆我儿时的梦。

小资料

“牡丹收音机”商标的由来

牡丹

1957年11月北京无线电厂为了适应收音机的外贸和内销需要，工厂决定以象征富贵之花的“牡丹”代替原来的五角星装饰作为工厂的产品商标，1958年3月15日经中央工商行政局审定批准使用“牡丹”商标。1961年 6月，全国人大常委会副委员长郭沫若为北京电子仪器厂“牡丹”商标题字。“牡丹”牌号原是中共北京市委第二书记刘仁引用唐人“唯有牡丹真国色，花开时节动京城”的诗句，鼓励北京无线电行业努力生产、创造名牌。

首台采用“牡丹”商标的收音机是：1957年开发的511型（出口型号为牡丹牌101-A型）交流5灯电子管收音机。这是一款中、短波两波段超外差式收音机。该机采用北京电子管厂生产的新型花生式小型玻璃管，由于该管体积小巧、效率较高，因而整机耗电量降低到35 W。在该机中变频管为6A2，中放管为6K4，检波、自动音量控制低放管为6N2，功率放大管为6P1，整流管为6Z4。整机电路也是采用较成熟的5灯电子管标准电路。该机于当年在秋季广交会上获得外商好评。

德生PL-300WT收音机试用手记

◎张建雄

前几天刚刚拿到德生公司新出品的数字调谐机PL-300WT（系列号：34920090400131），打开包装，拿出PL-300WT收音机，给我的第一印象是体积非常小巧，拿在手上很轻，204g的重量相当于口袋机的水准了，使人怀疑这样小的机型能否发挥出DSP的功能。PL-300WT的随机配置也比其他型号的收音机简单，没有配置随机电池和外接电源适配器，但比其他机不同的是，PL-300WT配置了一个像手袋那样的机器包，可以很方便地随身携带（图1）。

还来不及看说明书，我便急不可待给PL-300WT收音机装上3节5号充电电池（图2），开机试听。由于PL-300WT没有直接输入频率的数字键，所以只能通过该机的飞梭TUNING进行调谐电台（图3）。按下中波段的按钮，扭动飞梭，想调出1170kHz本地强电台“中国之声”。这是第一次开机，选择中波后，机器的中波频率显示为522kHz，我心里迅速地盘算，从522kHz到1170kHz的频率，这么远的频率距离，要转动飞梭多少圈才能转到1170kHz呀，所以我便快速地转动PL-300WT的飞梭，眼睛直盯着PL-300WT的屏幕。在旋转中我发现，当快速转动飞梭时，频率的变化是以每步100kHz的速度变化，没转几圈频率就达到了1200kHz。此时我再慢慢往回转飞梭，频率显示1197kHz、1188kHz、1179kHz、1170kHz。原来PL-300WT的飞梭有智能速度自动调整功能，在快速转动飞梭时，中波频率以步进100kHz变化，当慢速转动时，中波频率以正常的9kHz为一步进。我调谐到本地强中波台1170kHz后，马上听到了广播电台的声音。试听了一段时间，我感觉PL-300WT的扬声器看着不大，可声音还是很耐听的。虽然低音不太丰富，但高音也不刺耳。

PL-300WT有30级的电子音量控制，开机的时候，默认的音量是18级。在接收中波时，我觉得声音偏大了，忙减小到音量10级，在 10m²的房间试听，声音很清晰。为了测试PL-300WT的选择性，我把频率调谐到1161kHz和1179kHz，即1170kHz信号的两个相邻频率，都没有1170kHz的信号干扰，只有很小的杂音，这要得益于PL-300WT采用了美国SILICON LABS数字信号处理（DSP）芯片，极大地提高了该收音机的选择性和灵敏度。

试好了中波，该试短波和调频波段了。先试听短波，拉出机内天线，PL-300WT机内天线不算长，全部拉出来也只有55.5cm,机器也没有配置加长软天线。先把频率调谐到11760kHz收听“中国之声”的广播，听了一会儿又调谐到11800kHz的“经济之声”的广播，PL-300WT的短波灵敏度很高，能够清楚地收听到中央台的两个短波的广播，只是短波的声音忽大忽小，还是摆脱不了短波的传输特点的影响，不像S2000型收音机那样能够稳定地接收短波信号，基本不会出现声音忽大忽小的情况。

试完了中、短波，该试调频波段的接收了。按下调频波段的按钮

图1

图2

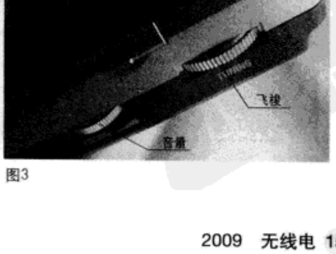


图3

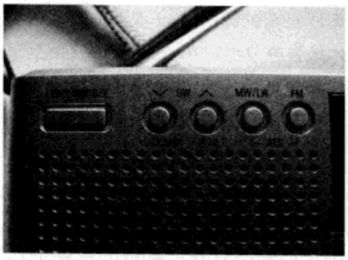


图4

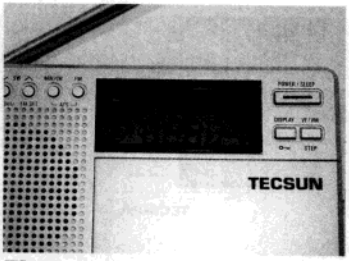


图5

图6

（图4），先把频率调谐到本地强台103.8MHz，扬声器里传出了广播声，但屏幕上却没有显示立体声标志。我感到非常奇怪，翻阅说明书后才知道PL-300WT要插上立体声耳机才会有立体声输出和显示立体声标志，但是收音机没有单声和立体声的选择按键。PL-300WT的调频波段输出声音偏小，在接收本地强台时，要把音量开到12级才能达到中、短波8级音量的响度。接收了本地强台后，该接收一下外地的弱台了，调谐到104.8MHz（福建广播电台），能够比较清楚地收听到广播节目，但灵敏度没有S2000那么高。德生收音机的习惯做法是为了不引起机器过载，调频灵敏度不会做得很高，能够满足收听要求即可。

接下来是试听中波弱台，在晚上21点，无论接收远地弱台还是本地的强台，效果都不错，PL-300WT不会输给其他便携式收音机，看来DSP的效果还是明显的，虽然只是机器内部的模数/数模转换，但却把PL-300WT的接收性能推上了一个台阶。

由于我国没有长波广播，所以没有试PL-300WT的长波接收。

PL-300WT的软件设计很不错，使人很容易就掌握其操作方法。该机的可储存电台频率为500个（中波、长波、调频各储存100个，短波200个），这些都无一不包含了S2000的强大功能，真可谓麻雀虽小，五脏俱全。透过PL-300WT这一小小的机器，可以看出德生公司强大的实力及其工程师精湛的技术。

试听了各个波段的电台后，该认真观察PL-300WT的显示屏幕了（图5）。认真看完说明书，才发现PL-300WT隐含着S2000的影子，PL-300WT的屏幕虽小，但功能却很强大，两个时间显示区，在关机的状态下可以显示当前时间和闹铃时间，开机的时候可以同时显示频率和当前时间。此外，PL-300WT具有世界时间显示功能（图6），这也是PL-300WT的卖点之一。PL-300WT还可以显示机器当地的温度，桔黄色的背光，显得很豪华。

总之，通过试用PL-300WT，除了上述很多优点外，还有一些不足之处，如世界时间显示，对于不经常出国的人来说，这个功能用不到，显得有些多余，不知道的人还以为PL-300WT的“时区指示旋纽”是万用表的功能开关呢（图7）。而“时区指示旋钮”用盖子盖住了，导致要储存电台时，一定要打开盖子才能储存电台和删除电台，觉得有些不方便。此外，由于PL-300WT的个头偏小，导致扬声器也偏小，使其音质的低音显得不足。

本文只简单介绍PL-300WT的使用感受，如有与德生公司的PL-300WT的指标冲突，以德生公司PL-300WT机的说明书为准，欢迎大家提出不同见解。

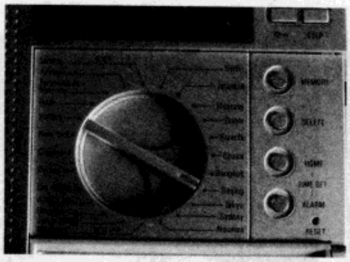


图7(a)

图7(b)

PL—300WT收音机的一些技术指标

频率

FM：64～108 MHz(可选择87～108MHz、64～108MHz、87.5～108MHz、76～108MHz)；

MW：522～1620 kHz（可选择520～1710kHz）；

LW：153～513kHz；

SW：3150～21950kHz。

噪限灵敏度

FM：(S/N=30dB) 优于3μV；

MW：(S/N=26dB) 优于1mV/m；

LW：(S/N=26dB) 优于10mV/m；

SW：(S/N=26dB) 优于18μV。

电台储存：500个

输出功率：350mW

体积：约135mm×86mm×26mm

重量：204g

收听FM音乐广播的利器
——极典R301S收音机

◎红色电波

深圳极典公司近年来推出了一系列音质优良的仿古收音机，R301S是其中的一款。

R301S的设计是以德国根德S1000为蓝本，其音质的特点是宽松、厚实，中频人声具有“磁性”，高频细腻，低频有根德收音机那种传统的“蓬蓬”声。用R301S收听FM广播，其美妙的音质令人难以忘怀。附表是R301的主要技术参数。

R301S收音机是深圳极典公司与德生公司合作生产的，德生公司负责生产和调试，电源、音频功率放大部分、附件及箱体则由深圳极典公司完成，德生公司将部分产品命名为TECSUN-1994。

一 外观设计

R301S收音机的箱体采用木质材料制作，正面采用粗纹图案的仿麻织

附表

频率范围	调频FM：88～108MHz	不失真输出功率	15W×2
	中波AM：540～1600kHz	放大器频响	20Hz～20kHz
噪限灵敏度	调频 FM＜5μV	扬声器频响	70Hz～20kHz
	调幅 AM＜1mV	扬声器单元	低频 4英寸羊毛纸盆
信噪比	FM＞55dB		高音20mm 球顶丝膜
	AM＞42dB	音调控制	低音、高音
失真度	FM≤0.5%	定时关机	最大120分钟
	AM≤1%	交流电源	220V
立体声分离度	30dB	产品尺寸	37cm×15cm×23 cm
单信号选择性	30dB	产品净重	5kg

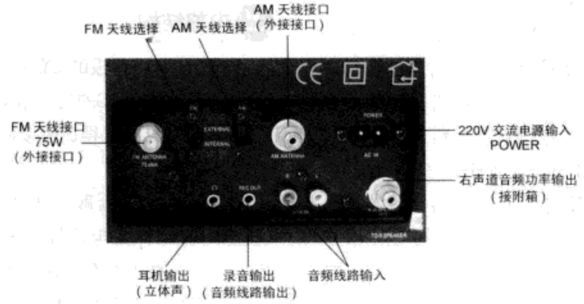


图3 R301S背面的输入/输出接口

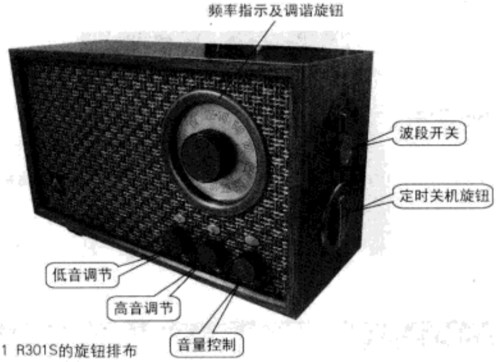


图1 R301S的旋钮排布

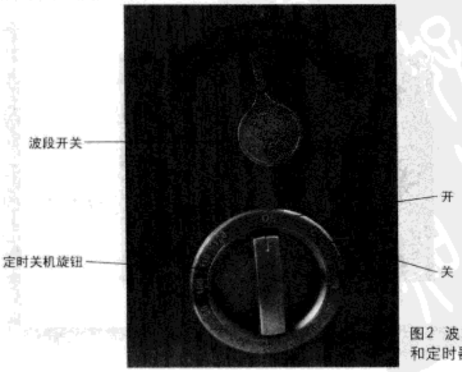


图2 波段选择开关和定时器旋钮

图4 R301S的内部结构

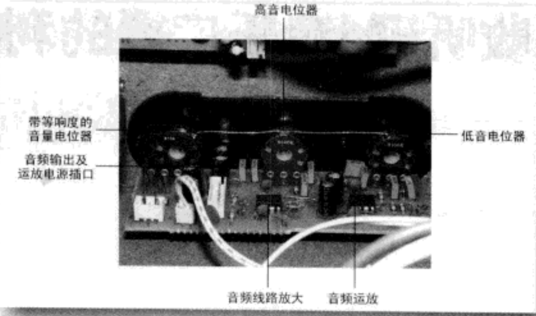


图6 R301S音调电路板

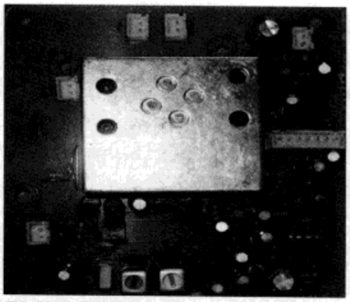


图5 R301S调谐器板

绒面，主要的控制旋钮集中于前面板的右端（见图1），全部旋钮有：电台调谐、音量控制、高音调节、低音调节、波段选择、定时关机。旋钮和饰件采用铜质或仿铜质材料制作，并且作了老化处理，因此R301S收音机的外观端庄、简洁，以仿古为主调。

频率指示刻度为圆形窗口，指针为旋转式，与调谐旋钮同轴，构成调谐一体；音量、高音、低音调节旋钮则置于调谐窗口下方，一字排开；定时关机旋钮和波段置于机器的右侧面（见图2），这样布局主次分明，方便用户操作。

各种接口则集中于收音机背面的右下角，具体有：220V交流电源输入、FM/AM外置天线输入、FM/AM内置与外置天线切换开关、音频电路输入、音频录音输出、耳机输出、右声道扬声器输出（见图3）。

二 内部结构

拧下R301S背板的9颗螺丝，取下背板，可看到R301S的内部结构（见图4），其内部结构显得比较凌乱，具有DIY的味道。

所有的电路分散在大大小小的6块电路板上，各电路板之间用导线连接，这样的结构不太利于生产和调试，会增加生产成本，但是，分板布件往往能减小各部分电路之间的相互干扰，因此，从提高收音机性能上来说是有利的。这6块电路板分别是：（1）调谐器板（见图5）：处理高频、中频信号，输出音频，完成收音机的接收功能；（2）音调电路板（见图6）：对由调谐器板输出的音频信号或由电路输入的音频信号进行缓冲、放大以及音调控制、音量控制；（3）音频功率放大板：完成音频功率放大和电源整流、滤波、稳压两大功能，这块电路板与背面的接口固定于一体，并且还采用一透明塑料罩密封，构成音频输出/电源组件（见图7）；（4）波段开关板：安装波段选择开关；（5）FM/AM内置、外置天线选择开关板（见图8）：完成天线接收信号的选择，与音频/电源组件封于透明塑料罩内；（6）照明灯板，安装刻度盘照明发光二极管，提供刻度盘照明。

图7 R301S音频输出/电源组件

图8 FM/AM内置天线

◎张建雄

让熊猫继续唱歌

——熊猫B623收音机购买、修复手记

熊猫是我国的国宝，它那憨厚的形态、顽皮的性格深受人们的喜爱，熊猫牌的电子产品也同样深受广大消费者的喜爱。在五彩缤纷的熊猫电子产品中，我有幸拥有熊猫电子管收音机、晶体管收音机等几部20世纪80年代以前的产品。其中有一部熊猫B623晶体管空气双连二波段小台式收音机，买到手时是有故障的，经过我的细心修理，重新焕发出了青春。

熊猫B623晶体管空气双连二波段小台式收音机是2007年的初夏在广播收音机网购买的，当时一看是空气双连机，是我的至爱，就有了购买的冲动。这款熊猫B623收音机是有故障的，卖家是个专业二手收音机经销商，具体的故障情况也是不太清楚，他就知道在试机的时候有“咯咯”声，收不到台。我认真查看卖家贴出来的收音机照片，发现收音机外观比较新，外壳没有磕碰的地方，我自认为凭自己从小在《无线电》杂志等电子报刊学到的收音机修理技术，修复该机可能性较大。另外，我还向卖家证实了该机没有进行过修理，于是决定购买该机进行维修。

经过对熊猫B623收音机的网上考查，再与卖家讲价，以几十元的价格成交了熊猫B623收音机。卖家是云南省昆明的二手收音机卖家，他本身也是个收音机爱好者，经常在广播收音机论坛露面，是个“老鸟”，也就是可以相信的卖家。汇款后10天左右，熊猫B623收音机就从云南千里迢迢来到广东的我家。

从邮局取回包裹，打开包装，拿出里面的机器，从外观上看，这部熊猫B623机外观很新，心中不禁暗暗窃喜。接着打开后盖板，准备通电试机，取来4节1号电池，放进电池仓，拧动电源开关，把音量打到最大，扬声器里面没有任何动静，轻轻拍打机器，还是静悄悄地，刚才暗自高兴的心情全没了。卖家不是说他试机的时候有“咯咯”声么？怎么这回音讯全无了？目测熊猫B623的电路板，好像没有发现有明显的损坏元件，旋动空气双连，突然发现这个小型空气双连有碰片的情况，这可是卖家没有说明的地方，我买这台收音机就是冲着熊猫B623是空气双连机，如果空气双连有碰片，就是该双连损坏了，这样基本上是不可能修复的。

我赶紧与卖家联系，电话打通后，我把收到机器后发现的情况跟卖家详细说了。好在卖家也是个广播收音机爱好者，他很通情达理，当知道空气双连有碰片后，就说把机器送给我了，并要把买机的钱给我退回。遇到这么好的卖家，我也不能亏了人家，我说退回一个

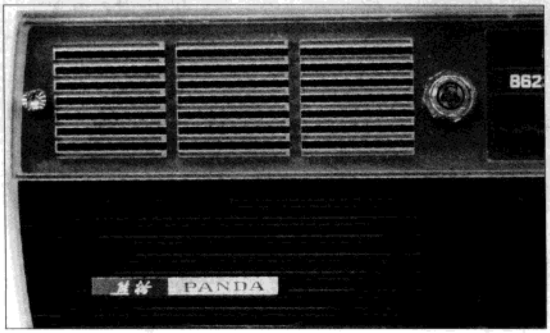


图1

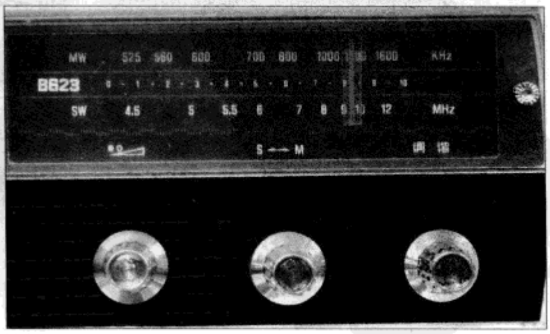


图2

小型双连的钱就可以了，卖家同意我的意见，退回一部分钱让我在网上买一个小型空气双连。

买卖的纠纷顺利解决，下一步就是如何修复熊猫 B623 了。熊猫是全国人民喜爱的国宝，熊猫收音机也不能让它躺在那里无所作为，况且我还是个无线电爱好者，说什么也要让熊猫收音机起死回生，重新唱歌。第一步是买到一个小型的空气双连可变电容，因为空气双连可变电容是 20 世纪 80 年代以前的产品，现在已经不再生产了，只能买库存的产品，即使是库存的产品，存量也不是很多，几经周折，等了 20 多天，终于有人在广播收音机网站出售小型空气可变电容，我如获至宝，赶快买下，付款后等了一个多星期，小型空气可变电容到手啦。

小型空气可变电容买回来后，就开始着手修理熊猫B623。打开熊猫B623后盖，先取下前面板的3个旋钮，再拧开固定机芯的几个螺丝，用烙铁焊开连接机芯的扬声器线和电源线，整个机芯就可以从机壳里取出来了。然后小心翼翼地用烙铁焊掉连接空气双连的连线，松开固定空气可变电容的螺丝，拿出有故障的可变电容，换上新买的双连可变电容，认真观察安装位置，无误即可上紧螺丝，焊上连接线，至此第一步修理工作结束。

更换好空气可变电容，接着就要修理无声故障。给熊猫B623接上维修用6V直流稳压电源，连上修理用的外置音箱的线，打开信号发生器的电源，调节信号发生器，使之输出1kHz的音频信号，输入到电位器中心抽头的音频输入端，熊猫B623还是鸦雀无声。打开一台电子管收音机的电源，用音频连接线一端连接好电子管收音机的拾音接口，电子管收音机设置为拾音状态，连接线的另一端连接熊猫B623的电位器上端，把波段开关置于中波，旋动可变电容，接收本地强中波电台，电子管收音机的扬声器传出中波电台的广播声音，这是熊猫B623接收的电台广播声音，说明熊猫B623的中、高频前部的状态是好的，故障在电位器后的低频部分。

既然是低频部分的问题，就先目测一下电路板上的元件，看看有没有脱焊、烧毁、物理损坏等情况。目测检查电路板，还真发现低频功率放大晶体管BG9（3CX201A）的封装塑料已经掉了一半了，连里面的芯片也露出来了，赶紧焊下BG9（3CX201A），用MF20万用电表电阻挡检查，其集电结和发射结均断路，说明该晶体管已经烧毁损坏，从另一台配件机“咏梅905”上拆一个9012E(3CX201A)，小心焊到熊猫B623的BG9位置上，试通电开机，能出来声音了，但声音不大而失真很大，说明低频放大还有故障。再焊下BG10（3DX201A）用万用表检查，也是与BG9一样集电结和发射结损坏。还是从“咏梅905”上拆下一个9013H（3DX201B），焊在熊猫B623的BG10的位置上，检查无误再通电试机，这时熊猫B623扬声器发出了中国之声广播的洪亮声音，而且声音也不失真了。把音量电位器调到最大，机器还是能够正常工作。关上音量电位器，测量整机静态电流约10mA，属于正常范围。微调一下R11，使机器的声音比较大又不失真，开机试听了一小时左右，熊猫B623声音无什么变化，

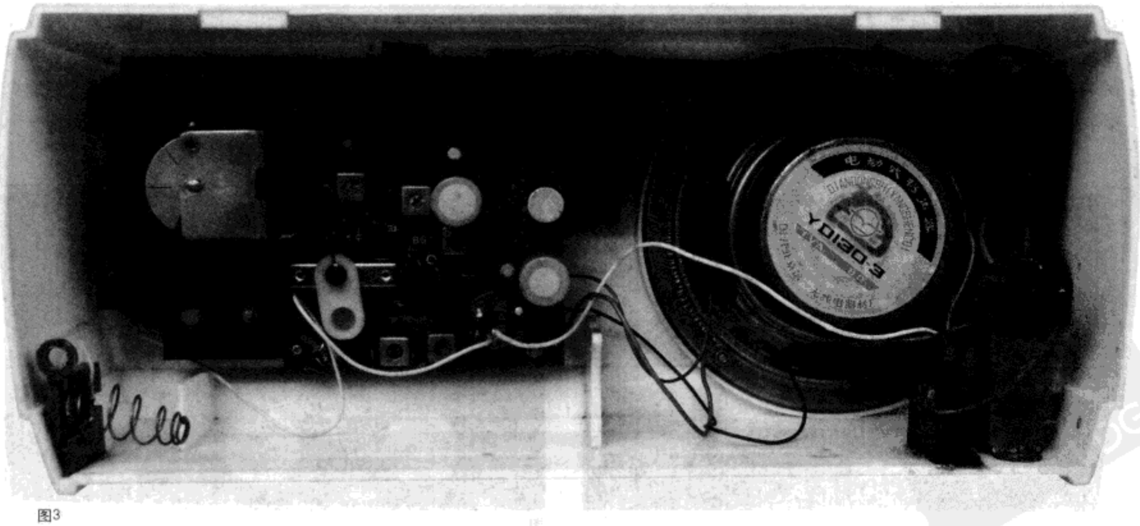


图3

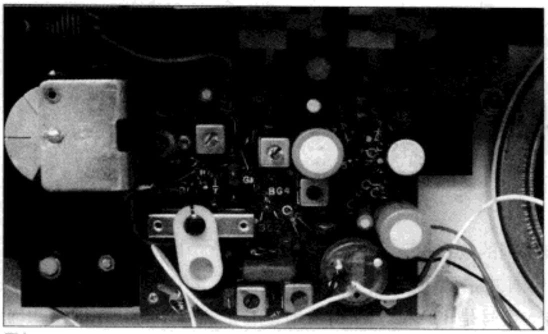


图4

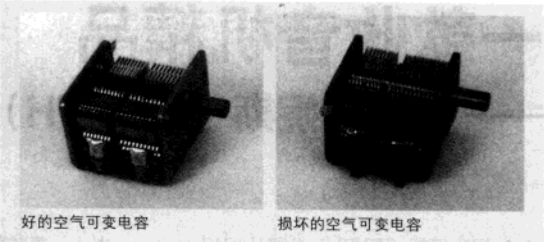


图5

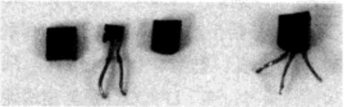


图6 损坏的三极管

用手摸BG9、BG10外壳微热，说明机器低频部分工作已经正常。再用信号发生器中频465kHz信号测试熊猫B623的中频通道，频率准确，说明中频通道工作也正常，无须调整。旋转空气可变电容，使机器接收中波高端的一个电台，略略微调一下陶瓷半可变电容C2，使机器的声音最大，再目测磁棒线圈在磁棒上的位置没有松动，封蜡还完好，所以不用调整磁棒线圈的位置。到这熊猫B623修理工作已经完成，把线路板重新装回熊猫B623的机壳里，上好螺丝，装上旋钮，把熊猫B623的外壳用软布抹干净，漂亮的熊猫B623就打理好了。装上4节1号电池，打开电源开关，旋转调谐旋钮，接收中波本地转播台1170kHz，电台正在转播中国之声的广播，宏亮的声音通过扬声器传出来，“蓬蓬”声不绝于耳，熊猫终于重新唱起了欢乐的歌。

熊猫B623的技术指标

频率范围：中波525～1605kHz
短波4.5～12MHz
灵敏度：不劣于2mV/m
选择性：>14dB
不失真功率：150mW

熊猫 B623 为十管二波段小台式收音机，采用全硅管线路，配置直径130mm 的扬声器，空气双连可变电容为调谐部件，采用交流、直流二用供电，机器美观大方，声音宏亮，用交流供电可以节省购买电池的费用，十分适合乡村、边防连队收听广播之用。

我购买、修理的这部熊猫B623，生产于20世纪70年代，可能是用户在用交流供电时，因电压不稳，稳压电源输出电压偏高，导致该机的功放管烧毁。然后机器便束之高阁，不再使用了，所以这部30多年的机器，外壳和内部还很新，这使我对其宠爱有加。

小资料

熊猫收音机生产厂简介

南京无线电厂（现为熊猫电子集团有限公司）始创于1936年,被誉为中国电子工业的摇篮，是一个具有七十多年历史的国有综合性大型电子企业。“熊猫-PANDA”是我国电子行业第一个“中国驰名商标”，也是中国电子产品第一个进入国际市场的注册商标。

1936年9月，设在湖南长沙的中央无线电制造厂(南京无线电厂前身)就开始装配“环球”牌5灯收音机，开创了中国无线电制造业的历史先河。1948年该厂以进口整套散件方式组装生产过美国飞歌牌806型五灯收音机3800台。

1953年南京无线电厂设计出新中国第一部全国产化收音机。1953年3月25日 试制成功国内第一批全部国产化五灯中短波广播收音机，定名为“红星”牌502型。

1956年1月11日，毛主席视察南京无线电厂，参观了收音机生产线，看到国产化收音机，毛主席十分高兴并鼓励全厂职工再攀技术高峰。当年生产出以熊猫牌命名的506、601型为代表的新一代电子管收音机，1957-1959年累计出口4万多台，远销20多个国家和地区。

20世纪60年代初，南京无线电厂开始生产半导体收音机。80年代初，随着微电子技术的发展，逐步实现集成电路化。产品逐步向全波段、小型化、高音质、多功能、智能化发展。

一款收音机精品

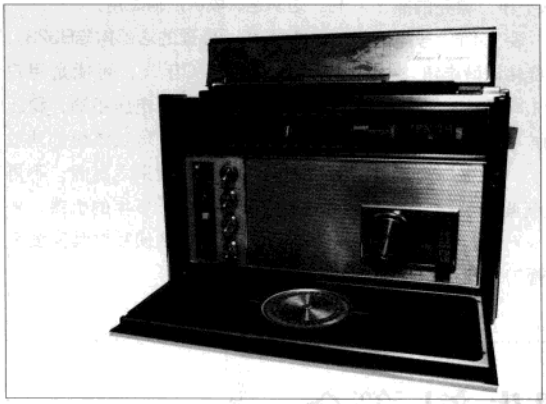
——美国珍妮斯（ZENITH）收音机D-7000Y

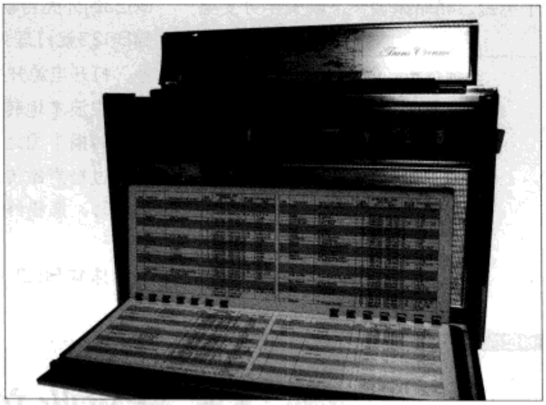
◎陈祖德

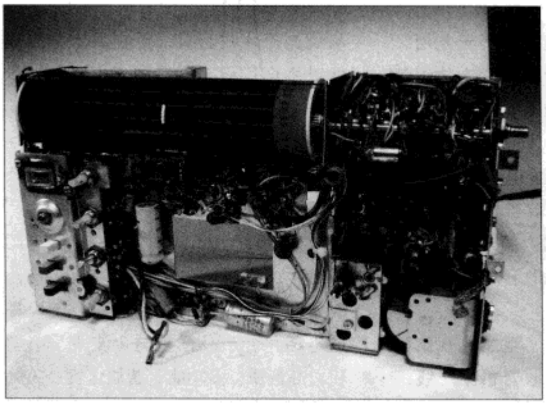
美国珍妮斯（ZENITH）公司从1942年开始生产TRANS-OCERNIC系列的收音机，熟称“飘洋过海” 系列。“飘洋过海”D-7000Y是美国珍妮斯公司20世纪70年代出品的收音机，该机设计漂亮、做工扎实、用料考究。从性能上看是为当时喜爱收听短波的听众设计的。一晃30多年过去，这款机器已成为很多收藏家追逐的精品，其价格不菲。

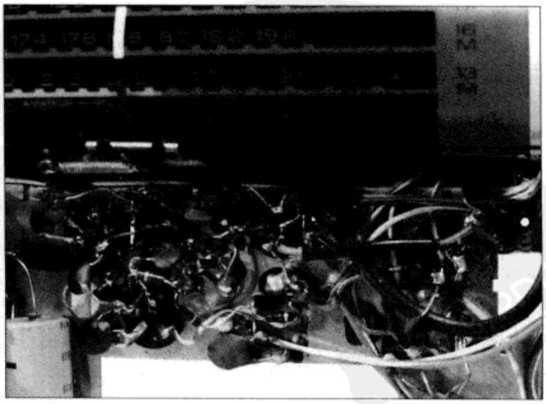
本人一直钟爱该系列的收音机，去年终于如愿以偿从国外拍卖网站买回一台该系列机器，型号是ROYAL D-7000Y，该机是美国珍妮斯公司经典机器之一，也是在美国本土生产的最后一款全晶体管机器，据说下一款ROYAL R-7000就是在中国台湾地区生产的带有集成电路的机器了。

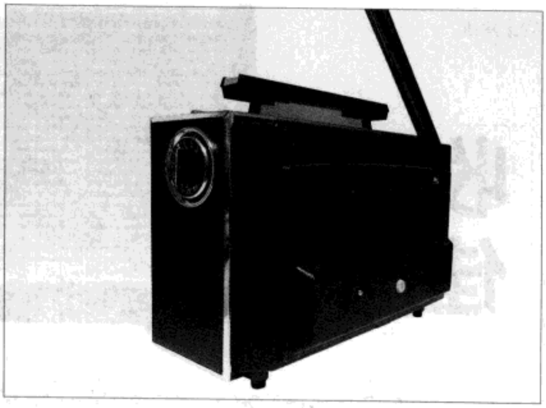
当我收到机器，打开包装时，一台非常漂亮的小手提箱（高23.5cm、宽34cm、深17cm）呈现在我的面前，机器外壳是用塑料和金属制造的，机器前部有上盖和下盖，平时不用时上、下盖闭合，使机器看着像一个小手提箱，这样利于运输又可以保护机器。打开上盖和下盖，漂亮的滚筒式调谐度盘和一排做工精致的旋纽展现在我的眼前，亮丽的扬声器网和布局合理的度盘和旋纽深深地吸引着我的眼球。我马上把机器调到FM波段，调











好声音和音调，一曲动听的音乐深深地打动了我，该机高音清晰、低音丰满。机器的上盖内部有一幅世界时区图，便于接收者核定时间。下盖内有一本接收频率表，便于接收者核定频率。

作为电子爱好者，拿到这款心爱的精品之后，还是忍不住要拆开机器外壳，对机器内部进一步欣赏。旋开机器后盖的螺丝，该机内部是钢板框架结构，所有元器件是搭棚焊接，各级电路之间布局合理，干扰很小。电路采用一次变频，带一级调谐高放和两级中放。机器噪声低，接收灵敏度高，带BFO，可以SSB接收。低放电路采用无输出，输入变压器的电路，机器共用18只晶体三极管，所有三极管都是采用3孔插槽连接，可以直接换用。各波段是用旋转波段开关转换，转换手感很好。该机自带拉杆天线，但设计的很特别，是隐藏在机器后盖上，机器内的器件已做防潮处理，所用元器件质量很好。

D-7000Y机器的规格

频率范围：

LW：150~400 kHz

MW：540~1600 kHz

SW: 1.6~3.5MHz 3.5~9.0MHz 9.4~10.1MHz 11.4~12.3MHz 14.6~15.8MHz 17.1~18.5MHz 20.6~22.4MHz

FM：88~108 MHz

VHF: 161~164MHz

◎张建雄

收藏佳品

——春雷605-3晶体管收音机

从20世纪60年代、70年代过来的人，对春雷牌收音机大概不会陌生吧！在那火红的年代，用收音机听广播就是广大人民群众了解外面世界的主要工具。春雷牌收音机，以它良好的性能、动听的声音、过硬的质量赢得广大用户的赞誉。

我一直对春雷牌收音机怀有深厚的感情，记得还在读初中的时候，邻居家有一台春雷牌收音机，从小就喜欢收音机的我，总找机会去邻居家收听广播。30年弹指一挥，进入21世纪，收音机已经被更先进的电子产品所代替，但作为爱好收音机的一代人，对收音机的那份情感是刻骨铭心的。春雷牌收音机以它良好的大众口碑，成为收音机爱好者的座上宾。

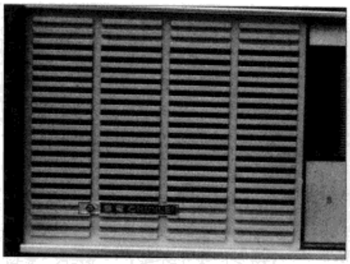
在春雷605系列收音机中，我最钟情的是春雷605-3型收音机，春雷605-3是上海无线电三厂于20世纪70年代推出的6晶体管3波段收音机，它采用台式设计、空气双连、交流/直流二用电源供电、大口径（直径165mm）扬声器放音，电位器的开关采用推拉式，可减少电位器的磨损，木质机壳配以铝制调谐面板，金属质感的扬声器面罩，超大的频率度盘，给人一种华丽、大方的感觉。

自从2007年夏天收藏了这款春雷605-3型收音机后，我就把它作为每天必听收音机之一。这台20世纪70年代生产的收音机，已经默默奉献了30多年，也可以算是收音机中的老龄人了，但凭借着它硬朗的身体，至今还能像年轻人一样每天唱出嘹亮的歌声。

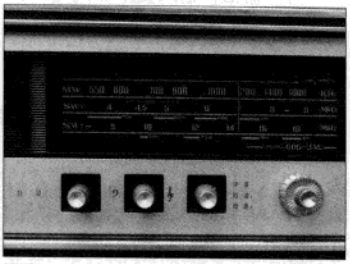
春雷605-3收音机性能指标

1. 频率范围：中波：535~1605kHz
   短波1：3.9~8.5MHz
   短波2：8.5~18MHz
2. 灵敏度：中波：小于1mV/m(*S/N*=20dB)
   短波：小于1mV/m(*S/N* =20dB)
3. 选择性：±10kHz，大于20dB
4. 输出功率：不失真功率大于300mW
   最大功率1W

春雷605-3型收音机的灵敏度高，选择性好，在收音机中也是屈指可数的。大家知道，现在中波的收听电磁环境比较糟糕，普通收音机接收中波电台信号，都会混入讨厌的干扰噪声，而春雷605-3型收音机在接收中波信号时，能比较有效地抑止噪声，也就是我们通常所说的背景声比较干净。春雷605-3接收短波信号灵敏度比较高，在收听短波的时候，只需在收音机的天线输入口接一条长1米左右的软电线，就能轻松自如地收听短波电台了。春雷605-3是一台值得收藏的收音机佳品。



喇叭



调谐

收听FM音乐广播的利器——极典R301S收音机（续）

◎红色电波

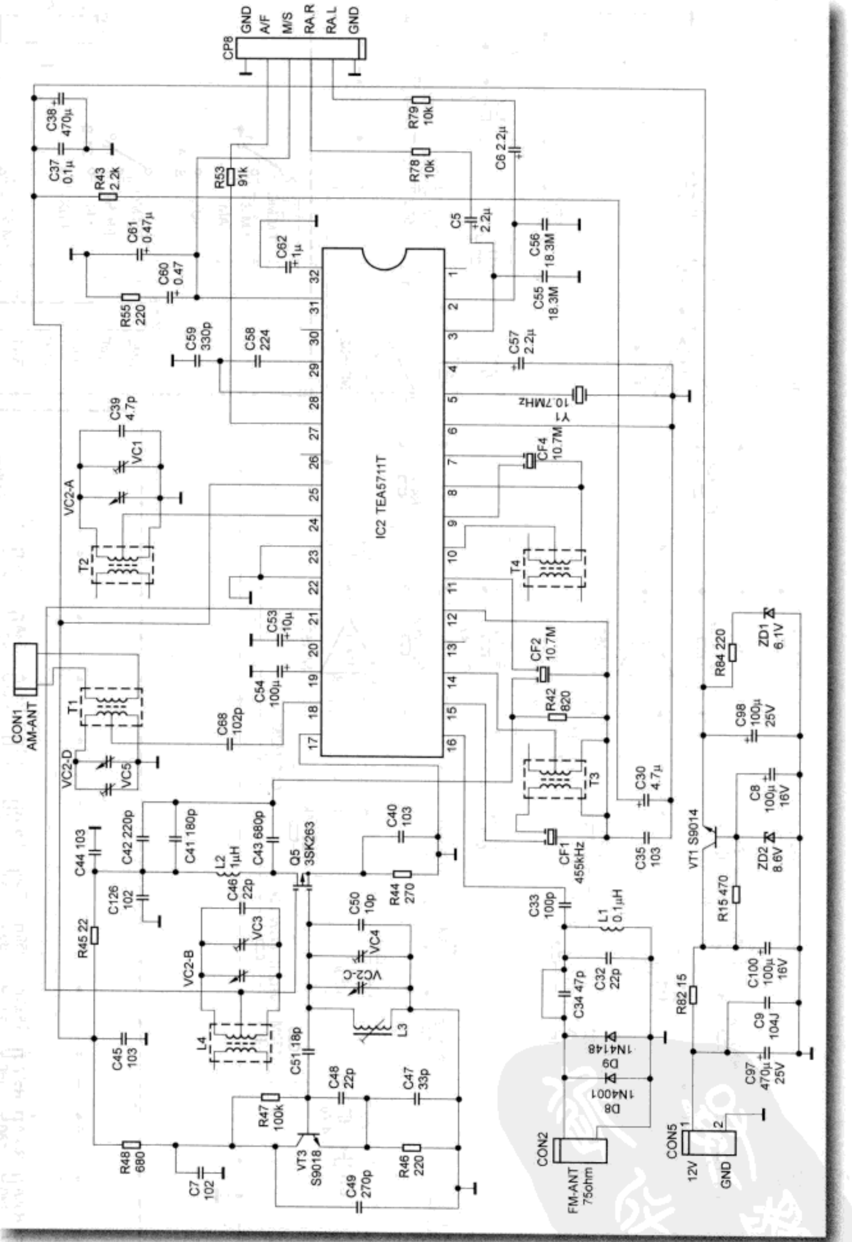


图9 R301S调谐器电路原理图

一 R301S的电路原理

图9所示的是调谐器电路原理图，图10所示的是音调电路图（虚线内为波段开关板和照明灯原理图），图11所示的是音频输出以及电源电路原理图。

从以上的电路图可以看出，R301S的电路不太复杂，主要电路为三个部分：第一部分由TEA5711T构成R301S调谐器，完成FM/AM高频、中频处理、FM/AM解调和FM立体声解码，

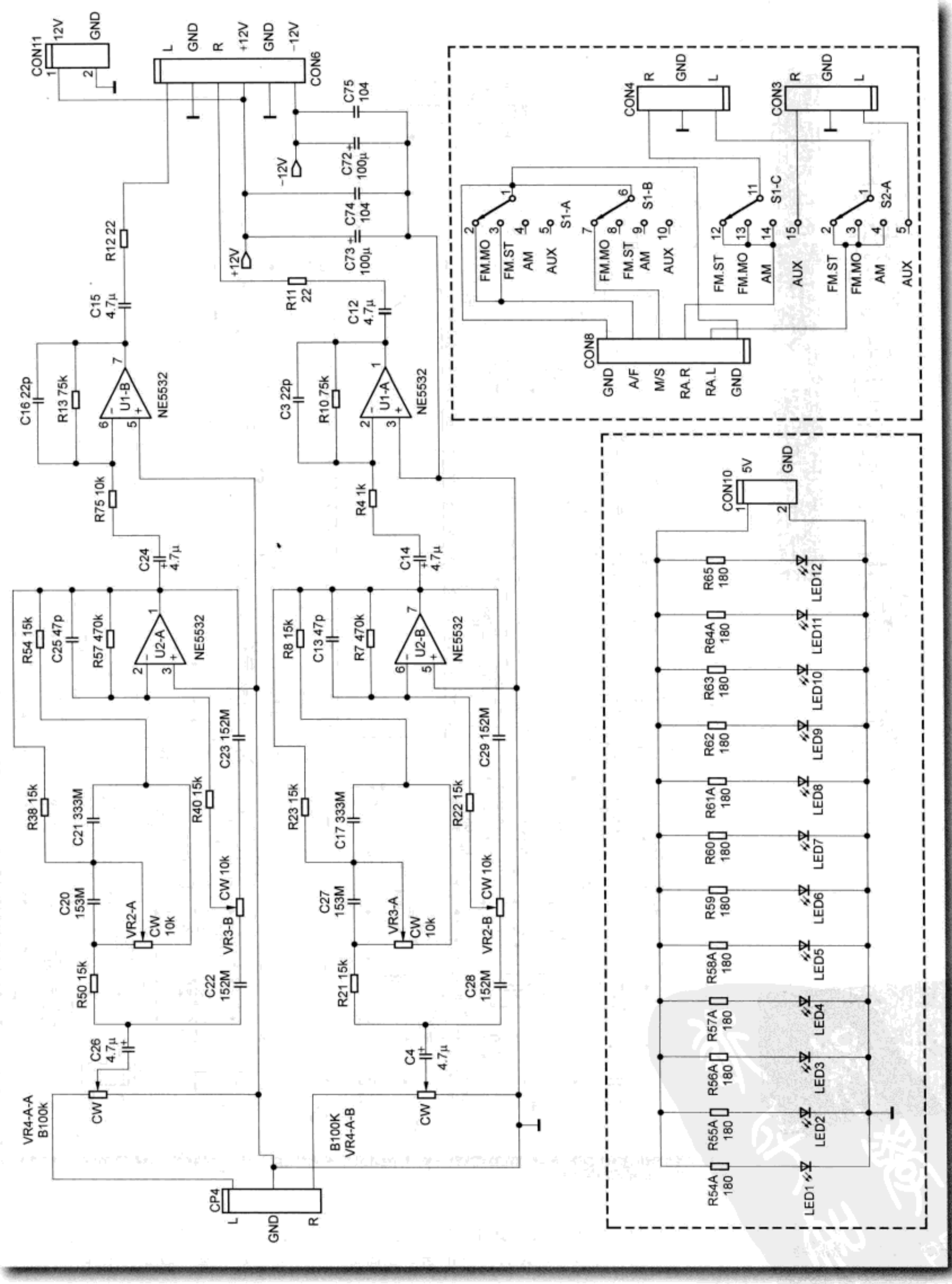


图10 R301S音调电路原理图

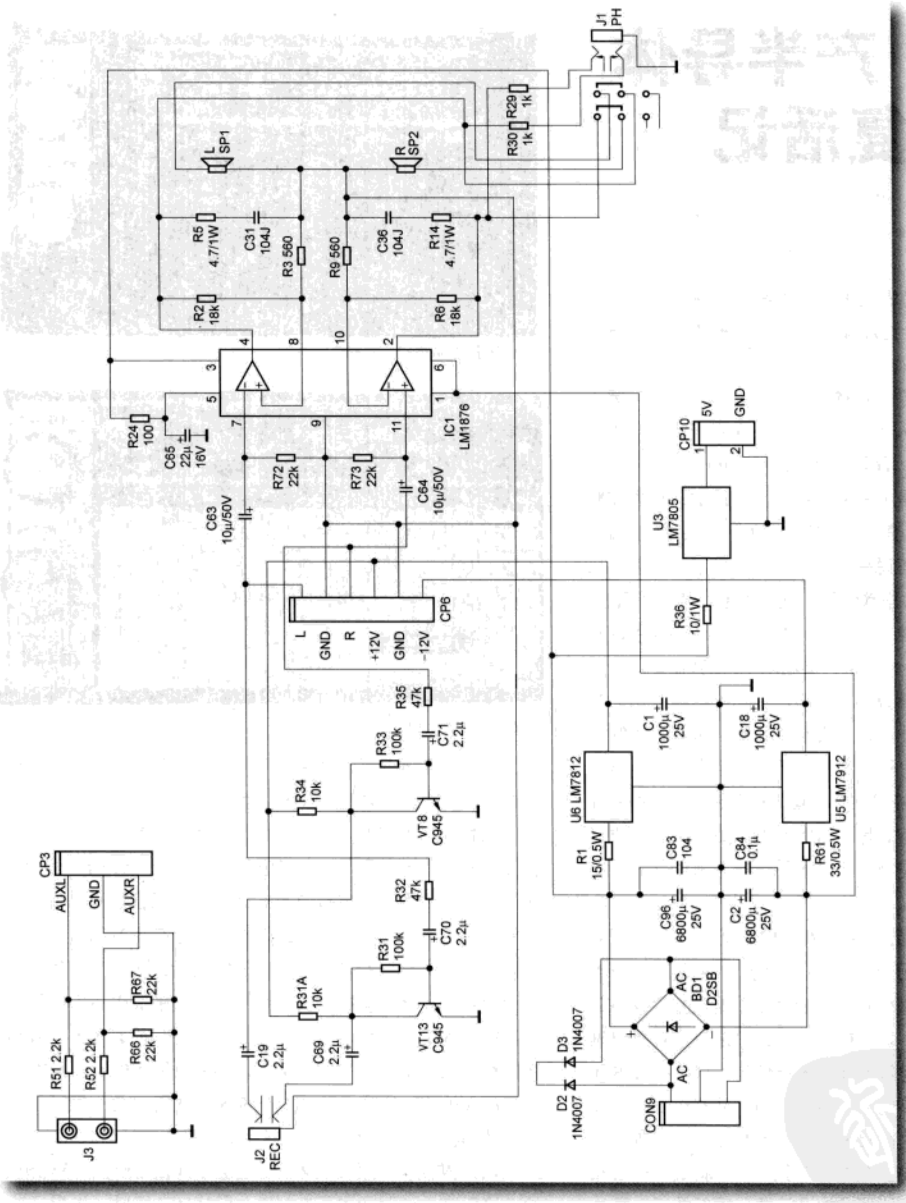


图11 音频输出以及电源电路原理图

然后由TEA5711T的2脚和3脚输出左、右声道的音频信号；第二部分双运放NE5532以及电位器RP2和RP3等元件构成负反馈式音调电路，再由NE5532缓冲输出构成音调电路；第三部分由LM1876进行音频功率放大输出，晶体管VT8和VT13为电路输出（录音输出）放大器。

二 R301S电路有两个主要特点

1. FM采用双栅场效应管变频，TEA5711T内部本来集成有FM本振电路和FM变频电路，但在R301S中没有采用（TEA5711T的23脚接地），而由TEA5711T的21脚输出的FM高频信号经L4和VC2-B构成的调谐回路后进入双栅场效应管VT5一栅极与VT5的另一栅极送来的本振信号（VT3、L3以及VC2-C等元件为FM本振电路）进行变频，这样不但有利于提高FM灵敏度，降低高频噪音，更重要的是可以通过调整VT5的工作点让FM变频器工作于比较良好的状态，尽可能地降低高频互调失真，最终结果将获得比较高质量的音频输出。

2. 比较有效地优化了电源电路，一是功放和音调运放采用双电源供电，二是除音频功放外，均采用稳压电源为R301S各部分供电。电源电路优化能起到减小各种干扰、有利于提高音质作用。

“文革”产半导体收音机复活记

◎罗列

日闲来无事，逛逛古玩市场，不经意间淘得一台上海无线电二厂在20世纪70年代生产的飞乐牌729型7管两波段便携式半导体收音机。

当时这台收音机放在旧货摊上一个不起眼的地方，因为现如今看瓷器、玉器的人多，摊主显然不拿它当回事。本人很是喜欢这类老收音机，看见它时不由得眼前一亮，忙伸手拿了过来，定睛一看：是上海无线电二厂生产的，机壳完整不缺肉，还配有猪皮的机套，典型的“文革”产品（见图 1）。问摊主机器响不响，回答说是坏了，不响。坏了无所谓，只要零件不缺就能修，我心里嘀咕着。征得摊主同意打开后盖，察看里面的元器件。元器件看上去完整无缺。便和摊主砍起价来，一来二去，几个会合下来，最后以 10 元钱搞定。

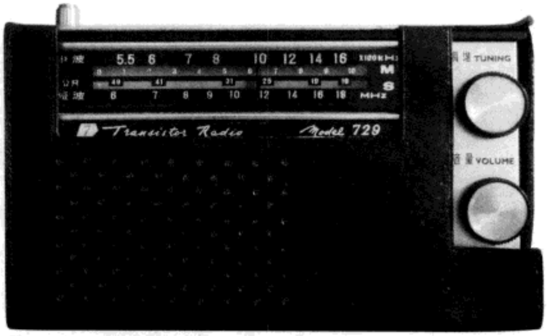


图1 飞乐729收音机（有皮套）

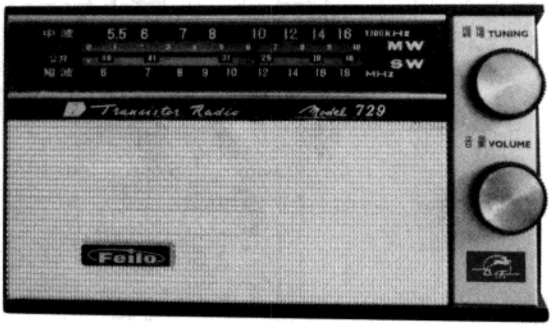


图2 飞乐729收音机（无皮套）

回来后，首先小心翼翼地拆下机芯，清扫陈年灰垢。其次是仔细检查各元器件外观，查看有无断脚、脱焊、锈蚀、霉臌等情况。经检查整机呈自然旧，不差一个零件，元器件外观无异常，除拉杆天线还剩3节、猪皮护套因年久有些发硬外，总的来讲这台机器还算是一台完整的八成新半导体收音机（见图2、图3），只是坏了无法收听，接下来的任务是电器检测和维修。

该收音机故障是完全无声。故先检查扬声器，没有问题。再测开路电压，电压为4.5V（正常）。接着测闭路电压，电压只有3V，说明整机有短路的可能。再测整机静态工作电流，电流为110mA，显然电流过大，看来整机短路已确定无疑。该机在十多年前就损坏了未再使用，最易损坏的元件应该是电解电容，因为电解质容易干枯。从整机静态电流大、开机电压大幅下降的情况来分析，很有可能是电源滤波电容C29击穿短路。焊下C29的一个引脚进行测试，电容正常，测电流仍为110mA，说明C29没问题，重新焊好。同法再测π型滤波电容C25 、C26也正常。同法又测了退耦电容和旁路电容，均没发现异常，看来电容引起的短路问题基本可以排除了。再将电路分为前、后级进行检查。用“一字改锥”触碰电位器中心片，扬声器无声，应考虑故障在低频级的可能性大。因该机出厂时间太长，加上长期不用，输入、输出变压器线圈极易霉变锈蚀，造成短路，应先测这两只变压器。用12号注射器针头套焊开输入、输出变压器各个引脚，测得变压器各绕组线圈电阻值一切正常，即不存在短路问题，说明输入、输出变压器没有故障。

可能引起整机静态电流大的元件差不多都查过了，最后将疑点集中在三极管上。没有先查三极管是因为电流太大，无法接通电源后测集电极电流，又因测三极管极间电阻需焊下管脚，怕烫坏管子，故不到万不得已轻易不敢动老机器的晶体管。只有在排除其他元器件无问题后，再测三极管。经前面检查，故障可能在后级，故测三极管采取由后到前的顺序进行。飞乐 729 型收音机低频部分由音频前置放大、音频激励和音频功率放大三部分组成，功放级采用的是乙类推挽功率放大电路。这种电路中两只推挽功放管如有一只管子的E、C 极或 B、C、E 极击穿，就会造成静态电流过大而无声。先测两只推挽功放管 VT6 和 VT7。焊开功放管 VT6 集电极，测电流仍高，说明问题不在 VT6，焊好 VT6 管脚。再焊开功放管 VT7 集电极，测电流变成了 15mA 左右，属正常值，说明问题出在功放管 VT7 上，故障原因终于找到了。拆下 VT7 测集电极和发射极极间正、反向电阻均为 0Ω，说明该管 E、C 极已击穿短路，呈导通状态，造成了整机静态电流过大，导致收音机无声。这种故障解决的办法很简单，只需更换新的三极管就一切 OK 了。有无线电常识的人都知道，两只推挽功放管的技术参数要求基本相同，俗称对管。故 VT6、VT7

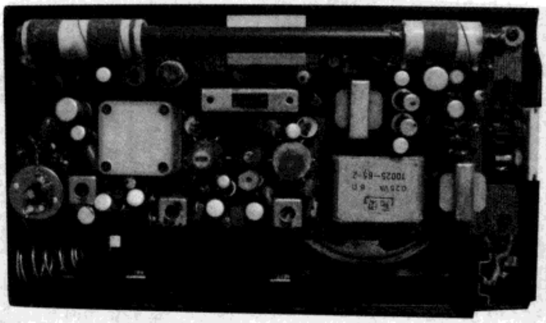


图3 飞乐729型收音机机芯

图4 更换后的3AX31A三极管

应同时更换。这两只功放管的型号为 3AX31B，属 PNP 型低频小功率锗管。现在这种三极管市面上已很少见了。费了几天的时间，跑遍市内所有电子商店均没买到。后来功夫不负有心人，恰巧碰到一位好心的也是电子爱好者的店老板，听了我的情况，把他收藏多年的存货拿了出来，翻了半天没找到 3AX31B 管，只找到几只 3AX31A 管，并说这管子质量不错，是他留着备用的，不卖的。既然都是爱好者，就算是帮忙吧，回去试试应该能替换的。经查晶体管手册，其中 I_{CBO}、I_{EBO}、I_{CEO} 反向截止电流略高于 3AX31B，性能可能略逊于 3AX31B，其他指标与 3AX31B 基本吻合，可以代用，这下这台 30 年前生产的半导体算是有救了。

迫不及待地架起电烙铁，将两只3AX31A换上（见图4）。焊接好后，又是迫不及待地装上3节 2 号电池，打开开关，扬声器终于发出声音了，调了一下台，清晰的音乐声从扬声器里流了出来。高兴地一拍巴掌："修好了！复活了！"真是欣喜若狂，忍不住去摸摸那两个立了大功的三极管，这一摸坏了，管子烫手，吓得我赶紧切断电源，再一测静态电流为45mA。这时才恍然大悟：两只功放管更换后未调整偏流就试机了，电流能不大吗？管子能不发烫吗？没烧坏管子，算是走运了，这真是让喜悦冲昏了头脑。啥也不说，赶紧调整偏流。这台机器设计得很科学，两只功放管的上偏流电阻是一只10kΩ的微调电阻（R23），这使得偏流调整极为方便（见图5）。烫开输出变压器中心抽头处的电流口子，反复调节偏流，最后调到5mA后焊合电流口子，再测整机电流为11mA左右，重新开机，烧机30min，两只管子仅有温感，整机工作恢复正常了。直到这时，这台20世纪70年代生产的飞乐牌729型7管两波段半导体收音机，终于能够正常工作了，沉睡了十多年的半导体终于复活了。

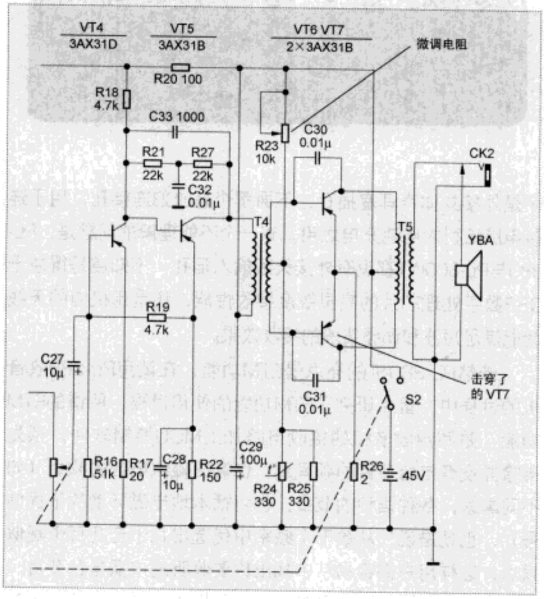


图5 飞乐729型收音机低频部分

最后顺带介绍一下飞乐牌729型7管两波段半导体收音机的技术参数：

1．**频率范围**：中波：535～1605kHz；短波：6～18MHz；

2. **中频频率**：465±3kHz；

3．**灵敏度**：中波：不劣于1.5mV/m；短波不劣于150μV；

4. **选择性**：不劣于20dB；

5. **额定输出功率**：不小于150mW；

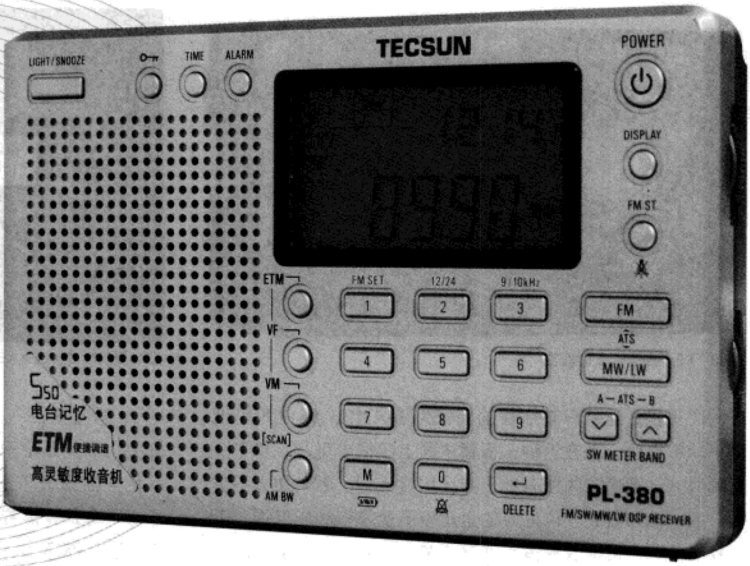
6. **电源电压**：4.5V（3节2号干电池）；

7. **扬声器**：φ65mm；8Ω；0.25VA；

8. **晶体管型号及作用**：3AG1E 变频；3AG1G 第一中频放大；3AG1B 第二中频放大；2AG9 检波及自动增益控制；2CP10 限幅；3AX31D 音频前置放大；3AX31B 音频激励；3AX31B×2 音频功率放大。

试用手记 德生PL-380收音机

◎张建雄



前几天收到东莞市德生通用电器制造有限公司寄来的最新产品，PL-380全波段数字解调立体声收音机是德生公司PL3XX系列DSP收音机产品中的最新一款，相对于PL-3XX系列DSP收音机的其他机型，PL-380增加了由德生公司自主研发的智能搜索电台频点ETM（Easy Tuning Mode）的功能，极大方便了用户快速搜索当地电台，特别是短波电台，给用户收听电台广播带来了便利，节省了时间。

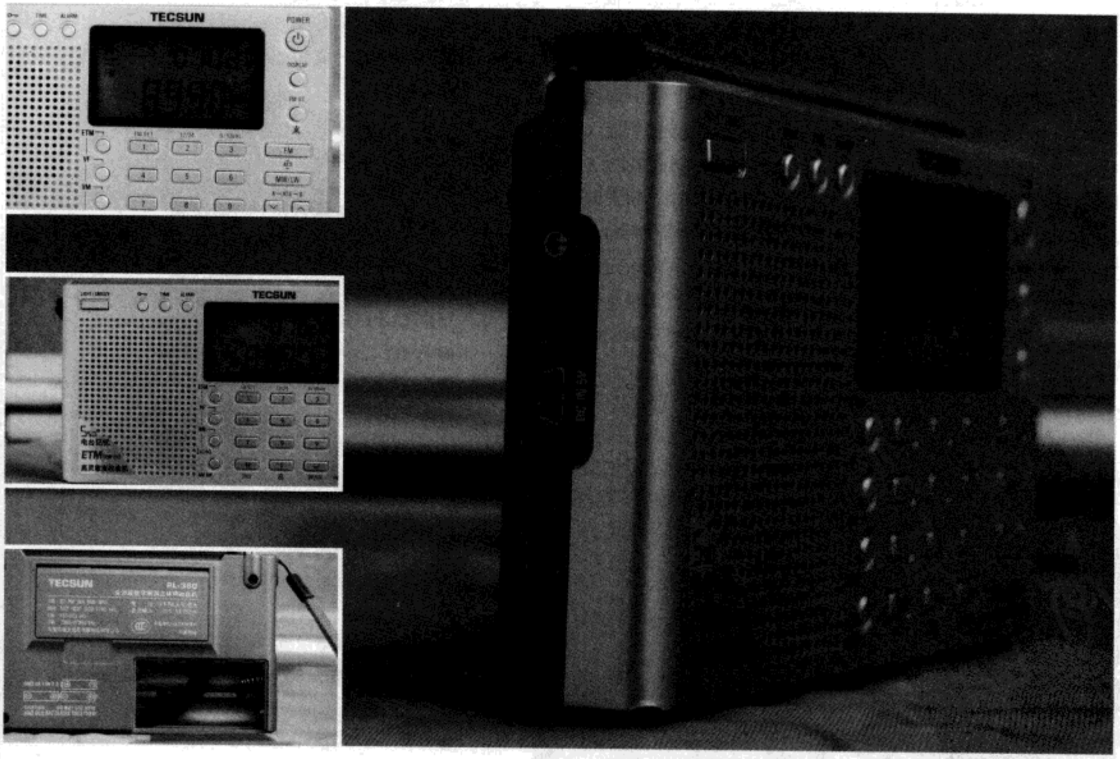
这部PL-380收音机是德生公司的测试用机，寄来的时候没有包装盒，也没有说明书和其他附件，只有收音机、一副立体声耳塞、一个厚绒布机包以及一张《快速操作指南》说明。由于前段用不少时间把玩了PL-300WT，对PL-3XX系列DSP收音机有了一些初步了解，所以对这部PL-380着重观察了与PL-300WT的不同之处。从外观看，PL-380收音机比PL-300WT收音机改观了不少，取消了PL-300WT的世界时间转换旋钮，增加了数字输入键及其他一些功能按键。与PL-300WT一样，PL-380采用的是橘黄色的背光设计，显得温馨自然。整个屏幕比PL-300WT稍大一些，显示的文字也要大一点。智能的温度显示、自动开机时间、正常时间、信号强度、信噪比显示也还一应俱全。而整机的尺寸与PL-310WT基本相同，扬声器也是采用直径50mm/16Ω薄膜小扬声器，电池还是使用3节AA5号电池。除了正面布局与PL300WT有较大的区别外，两侧基本相同，右侧上面同样是嵌入式飞梭旋钮，右侧下面是电子音量调节旋钮，机器的左侧有2个插孔，上面那个是外接立体声耳塞插孔，下面那个是USB连接孔，用于连接电脑给机内电池充电之用。有一个不能理解的问题是，PL-380与PL-300WT都没有外接天线输入插孔，不知道是得益于DSP数字处理芯片的高灵敏度接收性能，还是用机内的天线就能满足短波和调频波段的接收效果。

既然PL-380机的亮点是ETM功能，在试用PL-380收音机的过程中，重点研究了ETM功能的使用过程。所谓的ETM功能，是利用收音机的接收电路加上MCU控制软件，预先排除掉没有电台节目的频率点，优选出疑似电台的频点（如不同国家，各种语种的节目，也包括本地电磁环境的干扰信号），也就是说，从数千个频率中优选出几十至几百个疑似频点，这样用户很容易从中找出你要收听的广播电台节目。由于PL-380机ETM功能是第一次进行操作，自然不敢马虎对

待，带着虚心学习、急用先学、立竿见影的态度，认真阅读了PL-380《快速操作指南》，在基本掌握ETM的基本原理和操作方法之后，小心翼翼地开始了PL-380的ETM功能的操作。

打开PL-380收音机的电源开关，机器显示自动关机时间，可以根据需要旋动飞梭轮调节自动关机时间，我调节飞梭轮，使自动关机时间为“ON”。要设置自动关机时间时，要长按“POWER”电源开关键，再马上旋转“TUNING”飞梭钮，可选择在1~120min内自动关机，或选择“ON”长开机。按照《快速操作指南》的指引，先短按操作面板“ETM”按键，听到PL-380发出“B”一声，机器切换到“ETM”状态，接着先测试短波的“ETM”的效果，按PL-380面板的短波按键“V”或“Λ”，选择短波接收，全部拉出机器的拉杆天线，再长按“ETM”键，机器便开始了“ETM”功能操作，整个短波（PL-380短波接收频率为2300~21950 kHz）搜索完成，用时190s（在笔者所在地的广东东北部5层楼上靠窗口处，上午11时40分的时间），共优选出疑似电台的频点47个。因为短波广播电台的发射频率在一天时间内会有改变，所以搜索优选的短波电台频点在一天内的各个时间段也是不尽相同的。ETM的优选电台频点完成后，只需旋转机器的飞梭，就可以收听通过“ETM”搜索完成的各个疑似电台的频点，比未用“ETM”搜索电台显得快捷和方便。在理论上，PL-380收音机短波频率段容许出现电台的频点数是（21950-2300）/5=3930个。如果是一个频点一个频点用手动搜索的话，恐怕就不是用几分钟就可以完成的了。从这个不起眼的“ETM”搜索功能，也可以看出德生公司的强大的技术实力。

测试完短波的“ETM”搜索功能，接着再测试FM波段的“ETM”功效，按下机器面板的“FM”波段按键，PL-380切换至FM接收状态，再长按“ETM”键，机器开始搜索整个FM波段的频点，只用20s，搜索就完成。在笔者所在地的广东东北部的上午12时，共搜索出疑似电台的频点9个（因为笔者所在地是小城镇，当地FM发射台不多，所以搜索出的电台频点也少），基本上把有广播的频点全部搜索出来了。中波的搜索也是用时20s钟就完成了，白天共搜索出疑似电台的频点7个，而当地实际中波广播发射频率只有4个，有3个频点是本地电磁环境的干扰信号，可见“ETM”的功能也把电磁环境的干扰信号搜索出来了。



PL-380除了强大实用的“ETM”功能外，还可以直接输入电台频率和预存电台的储存地址。整机的灵敏度和选择性也与PL-300WT一样，非常高。在晚上接收几千千米的远地中波电台广播也非常清晰，底噪也很低，PL-380还设置有调幅中频带宽转换功能，中频带宽可以设置为6、4、3、2、1kHz。当中频带宽设置为宽带时，收听本地强电台可以获得较好的音质。而当中频带宽设置为窄带时，接收远距离弱电台信号可抑制邻近电台的干扰，降低背景噪声。FM的接收，在不拉出拉杆天线的情况下，仍能清晰接收到本地的FM电台广播，拉出机器的拉杆天线，在广东的东北部也能清楚地接收到100km外的福建永定和龙岩的FM电台。FM电台的立体声接收和分离，依托DSP芯片的高灵敏度FM接收，取得显著的立体声效果。在PL-380面板上，设置了FM立体声转换按键，当接收弱信号FM电台时，设置为单声音接收，可以减少噪声，提高接收效果。而短波的接收，由于受到短波传输特性的影响，声音还是有忽大忽小的现象，但接收的灵敏度一样高。看来DSP收音机的数字芯片效果还是很明显的，虽然只是机器内部的模数/数模转换，但却把DSP收音机的接收性能推上了一个台阶。

由于PL-380设置了输入数字的键盘，PL-380智能飞梭选择电台时，频率变化的速度与PL-300WT有较大的差别。以中波为例：PL-300WT快速旋转飞梭时，频率步进是100kHz，慢速时的频率步进是9kHz，而PL-380快速旋转飞梭时，频率步进是9kHz，慢速时的频率步进是1kHz。PL-380短波的智能飞梭变化，快速时频率步进是5kHz，慢速时频率步进是1kHz。FM波段的智能飞梭变化，快速时频率步进是0.1MHz，慢速时频率步进是0.01MHz。另外PL-380的ATS自动搜索储存电台功能、背光控制按钮、按键锁定键、自动开关机时间的设定、按键“B”声的设定、550个分波段电台储存等这些人性化的功能，都体现出德生公司以人为本的产品设计和用户第一的经营理念。

在试用PL-380过程中，总感觉采用DSP芯片的收音机，“数码味”浓了一点，没有传统收音机的纯朴声音。另外，由于PL-380的机壳尺寸小，只能用直径小的扬声器，就使得PL-380的声音显得低音不足，收听音乐时，总感觉缺少了点什么。这部PL-380是德生公司的测试用机，仍存在一些不足的地方，德生公司会根据测试者提供的测试报告，不断进行改进和完善。

PL-380的基本技术指标

●频率范围

调频（FM）标准频率覆盖：87 ~ 108 MHz

俄罗斯、部分校园广播：64 ~ 108 MHz

中国、欧美：87.5~108MHz

日本：76 ~ 108MHz

短波（SW）2300 ~ 21950 kHz

中波（MW)亚洲、非洲及欧洲： 522 ~ 1620 kHz

北美洲： 520 ~ 1710 kHz

长波（LW）153 ~513 kHz

●噪限灵敏度

调频（FM）（S/N=30dB）优于 2 μV

中波（MW）（S/N=26dB）优于 1 mV/m

长波（LW）（S/N=26dB）优于 10 mV/m

短波（SW）（S/N=26dB）优于 20 μV

●选择性：

调频（FM）>60 dB

中波（MW）>60 dB

长波（LW）>60 dB

短波（SW）>60 dB

●调频立体声分离度：优于35 dB

●输出功率

扬声器： 350 mW

耳机：8~32Ω立体声耳机

●储存记忆数： 共 550个

调频（FM）100个

中波（MW）100个

长波（LW）100个

短波（SW）250个

●闹醒模式： 广播电台闹响或蜂鸣闹响

●静态电流

调频 <25 mA

中波/长波 <23 mA

短波 <35 mA

关机待机 <90 μA

●扬声器尺寸及类型

扬声器尺寸：直径50mm/16Ω 薄膜扬声器

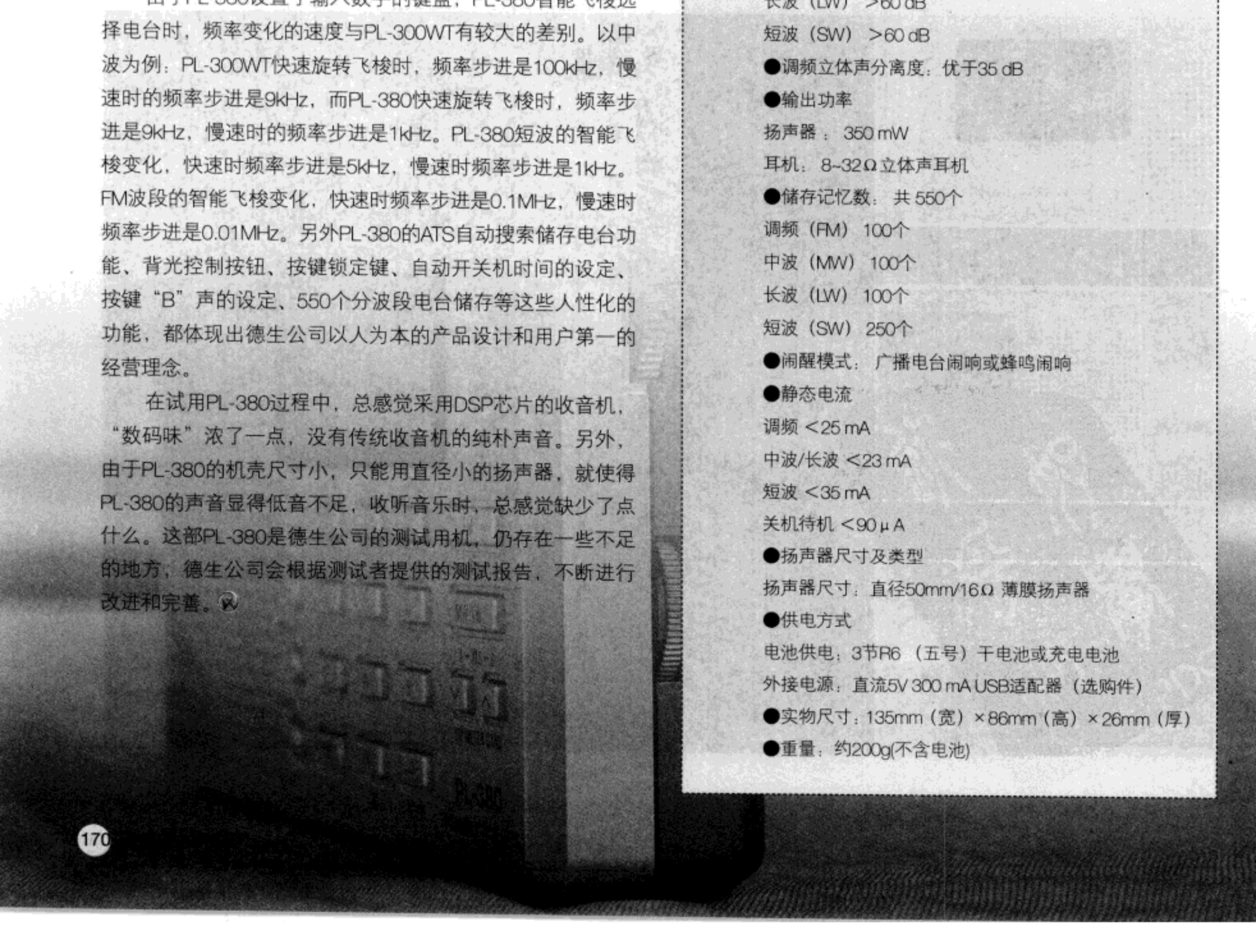
●供电方式

电池供电：3节R6 （五号）干电池或充电电池

外接电源：直流5V 300 mA USB适配器（选购件）

●实物尺寸：135mm（宽）×86mm（高）×26mm（厚）

●重量：约200g(不含电池)



国宝在我心中

——有感于南京熊猫集团广播爱好者盛会

©boris

上海爱好者吴俊东、戚广崇

南京无线电厂前党委书记张胜华女士接受爱好者的贺匾

北京收音机爱好者王杰

在喜迎新中国60华诞的金秋时节，在金陵古城南京，熊猫电子集团老科协和南京广播爱好者俱乐部共同举办了“国宝在我心中”的联谊盛会。到会的有南京无线电厂的前总经理陈祥兴老先生、前党委副书记张胜华女士、名扬天下的熊猫1501特级机的美工工程师哈崇南先生、收音机电路工程师龚剑泉先生、前总质量师倪钧先生、前副总经理李双喜老先生，还有远道而来的德生收音机总经理梁伟、深圳极典公司的总经理曾德钧以及来自南京、北京、上海、无锡、江阴、高邮，芜湖，宿州、深圳、东莞等地的广播收音机爱好者。

熊猫牌收音机是一个曾经辉煌了半个世纪的知名品牌。在五六十年代成长和工作的人，很少有不知道熊猫牌收音机的，熊猫牌收音机以其优异的性能、精湛的艺术造型给人们留下了难以磨灭的印象和无限美好的回忆。联谊会让爱好者近距离接触了他们心中国宝的制作者，亲听他们讲述国宝——熊猫牌收音机的故事。老前辈们从南京无线电厂的建厂谈起了熊猫这个名字的来历，从熊猫品牌的成长回顾了南京无线电厂的发展壮大的历程……收音机美工设计大师哈崇南老前辈给大家讲起了熊猫牌 1501 特级机设计的经历，从接受到任务到工作的调迁，以及如何全身心投入的那一百个日日夜夜，经过对无数地方的走访，对无数的民族建筑和器具的分析，经过多方面仔细的推敲和论证，终于在脑海中形成当前这个既具有浓郁的民族特色，又雍容华贵令人叹为观止的造型（熊猫牌 1501 收音机的外形见 2009 年第 10 期杂志）。收音机电路工程师龚剑泉老前辈饶有趣味地讲述了当年他与美工设计师相互配合的过程中的小故事。台上台下多少会心的颔首微笑，一切都显得那么的平和，却又意趣盎然，人物与文化的结合与传承显得如此的自然和轻松。

熊猫牌收音机工程师龚剑泉　美工设计师哈崇南

老工程师、老厂长在观赏爱好者们带来的熊猫牌收音机

会场上展示着爱好者们带来的各种型号、各种款式、形态各异的熊猫牌收音机。这些穿山越岭来到这里的收音机，带着那个年代特有的历史烙印，向人们诉说着一代人奋斗的历史，展示了老一辈工程技术人员们的聪明和才智，他们用平凡的一生创造出了那个时代的伟大品牌。

时过境迁，如今名目繁多的家电产品给人们的生活带来了更大的方便和更为广泛的信息传播，新一代的数字产品更是遍地开花，给广大老百姓带来了全新的视听享受。然而在我们这些收音机爱好者的心里，昔日曾给我们带来无限欢乐的收音机却总也挥之不去……

鉴赏与收藏

谈谈早期的熊猫牌收音机

◎陈汉燕

南京无线电厂生产的收音机一直使用两种商标，先是红星牌，后来又有了熊猫牌。早期的“熊猫”并非独立品牌，是红星牌收音机出口时使用的副牌。据现有资料，最早的熊猫收音机是1956年红星504型五灯机的出口版551型（图1）。紧接着又推出了熊猫牌552（图2、图3）、553型（对应红星504-1、504-2型）。三种熊猫五灯机都使用“大八脚”电子管，木制机箱。1958年，南京无线电厂出品了一款与红星牌504-4型收音机（图4、图5）造型一样，内部结构也基本相同的熊猫牌504-4型五灯机（图6、图7），使用了国产小型“花生管”，木制机箱也有了新的变化，而且首次使用了磁性天线，但它依然是红星牌504-4型的副牌（红星牌504-4没有磁性天线）。这款熊猫机和前述3款熊猫机不同的是，与其相对应的红星机型号完全一样，都是504-4，且产量和存世量很少，非常值得收藏。以上熊猫牌收音机由于不是独立的品牌，只是出口时使用，所以尚未在收音机上出现中文“熊猫”的字样，只在度盘上印有熊猫头像，厂标使用英文（图8甲）。有一些印有英文的“PANDA”（图8乙）。

在1956、1957年间设计生产的熊猫牌506型五灯机，是熊猫牌收音机的第一款独立机型。据南京无线电厂老设计师龚剑泉和哈崇南回忆，506的外观设计者是一位舞台美术设计师，506的造型源于舞台。但问题是，现在的熊猫牌506系列，有两种造型（图9、图10），都与舞台造型相仿。其中图9的机型又称“三面红旗”506。我收藏的1958、1959、1960年熊猫牌收音机的说明书中，两种机型都出现过，所以很难确定到底哪一款是最初的设计。我认为,所谓“三面红旗”的机型似乎更早。原因有二：首先，“三面红旗”构图较复杂，改进型简洁一些更符合常理。其

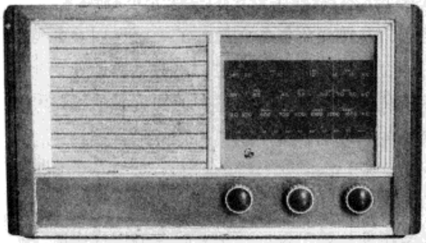


图1 熊猫牌551收音机

图3 熊猫牌552收音机内部

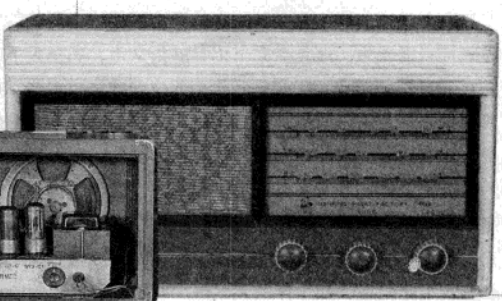


图2 熊猫牌552收音机

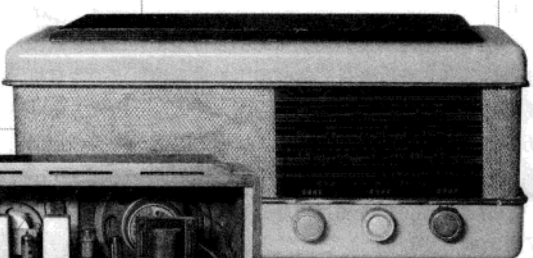


图4 红星牌504-4收音机

图5 红星牌504-4收音机内部

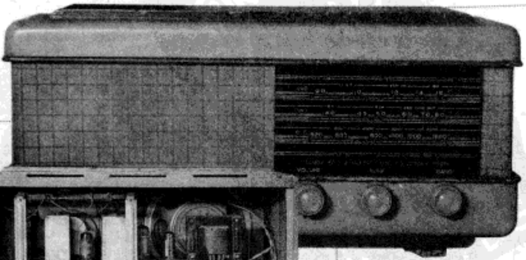


图6 熊猫牌504-4收音机

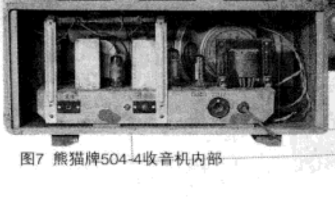


图7 熊猫牌504-4收音机内部

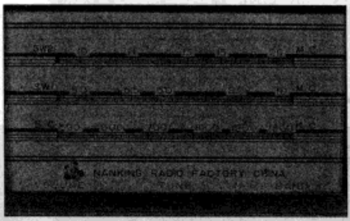


图8甲 熊猫牌552收音机的度盘

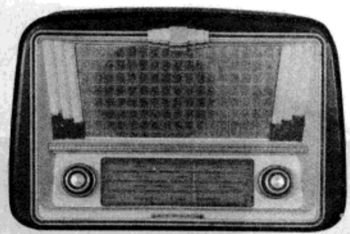


图9 “三面红旗”506收音机

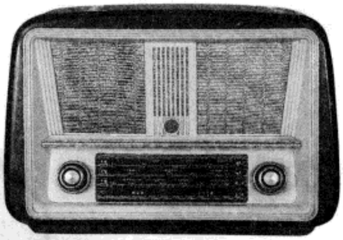


图10 熊猫牌506收音机

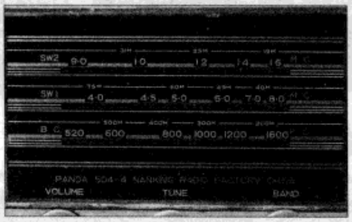


图8乙 熊猫牌504-4收音机的度盘

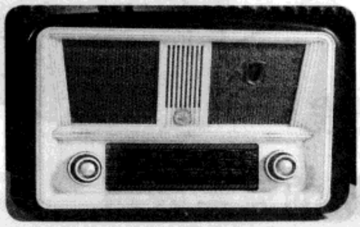


图11 熊猫牌601收音机

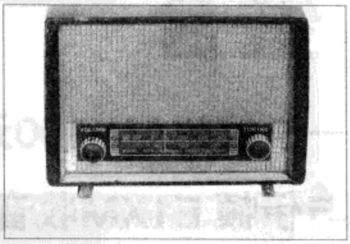


图12 熊猫牌301-A收音机

次，多数的506系列收音机并没有采用“三面红旗”的设计，证明早期的造型已被弃用。熊猫506型五灯机问世不久，增加了一个“猫眼”的601型六灯机（图11）就上市了。

熊猫牌506和601系列开始，虽然与红星牌各自为伍，但仍有牵连。早期红星收音机型号的排序规律是，第一位数字代表电子管的数量，后两位是产品序号。如红星502型，即五管收音机中的第二种产品。熊猫506之前，红星机已出到505型，506是接着505排序而命名的。熊猫601即六管机中的第一种产品。后来生产的红星612型六灯机，又是接续熊猫六灯机的序列号命名的。可见南京无线电厂对红星和熊猫收音机的品牌都很重视，在规划两类产品的发展时，是统一进行考虑的。

早期的熊猫牌收音机有一款机型值得我们注意，它就是301A型三灯机（图12）。该机面世于1958年。我们知道，与上海牌、牡丹牌等名牌收音机厂家不同的是，南京无线电厂制造收音机的起点很高，该厂生产的第一款收音机就是五灯机。到了1959年，便已生产出十四灯、十五灯的熊猫牌特级收音机。正当其收音机的研制一路高歌，达到国内技术颠峰之时，却突然放下架子，做了一款三灯简易外差式收音机。301A的出现，与1958年前后国家大力强调收音机生产“要贯彻普及提高并举的方针，要有大量为广大群众服务的低价收音机”密切相关。当时各地无线电厂掀起了设计生产普及型收音机的高潮，如武汉的卫星牌，天津的鹦鹉牌、北京牌，北京的牡丹牌，南京的南京牌等，都向市场投放了物美价廉的三四灯收音机。而且，1958年11月举办的全国第一届广播收音机观摩评比会，明确提出“以人民群众需要最多的三灯、四灯收音机为观摩评比的重点”。在计划经济的年代，南京无线电厂当然要服从大局，在简易普及型收音机方面有所表现。但是，对于301A这样的低档收音机，南京无线电厂在设计制作上，也秉承了其一丝不苟的风格。该机造型小巧古朴，简洁而不失雅致，满铺的喇叭布配以无框玻璃度盘，风格独特，正面内框的豆青色通过深棕色外框，过渡到整个机箱的颜色搭配模式，开了熊猫牌收音机重头产品607系列的先河。301A之后，南京无线电厂将普及型收音机的重心放到了晶体管收音机上，电子管机未再继续。加上301A的产量很少，早先又不为人们所重，因此成为熊猫收音机藏品中极难寻觅的珍品。

熊猫早期的收音机不仅造型设计美观新颖，用料做工也很讲究。例如图1、图2机器的机箱，以及红星牌504系列的不少机箱都是采用樟木制作，至今香味尤存，箱体毫无变形。另外，熊猫牌收音机一开始就注重产品开发的系列化，这样做的好处是，通过多种不同的机型配置，可以满足更多层次的群体需求，从而占有更大的市场份额。如熊猫506上市不久，采用磁性天线的506A就走下了生产线。601系列的产品则有601-1/-2/-3/-4。由于系列机型太多，不得不在序号之后再加上字母区分，甚至字母后又加以数字，如601-1A，601-1A1、601-1A2，601-3G、601-3G1等。可以说，熊猫牌收音机在国产收音机的单一品牌中，系列产品最为丰富。因篇幅所限，本文不再详述，今作此文是为南京广播收音机爱好者“国宝在我心中”联谊盛会助兴。

◎张建雄

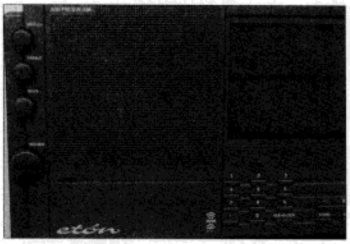
珠联璧合

——德生AN-100天线与伊顿 E1XM收音机的完美联姻

来自西半球的美国小帅哥伊顿E1 XM收音机与中国德生公司的AN-100天线配合使用，收到了完美的接收效果，可称为中外器材的完美联姻。

大家知道，普通收音机的中波信号接收是靠磁棒天线等元件构成输入回路，完成电台信号的接收。如果一部数字调谐的现代收音机，其中波输入回路没有磁棒天线的话，会是怎么样呢？这是稍为有点无线电知识的人都不敢想象的，而伊顿E1 XM收音机却偏偏喜欢做这一另类。别看伊顿E1 XM大大的个头、宽宽的屏幕（屏幕尺寸140mm×105mm），漂亮帅气的银灰色衣裳，阳刚气十足的多功能飞轮，还有“蓬蓬”声如欢乐鼓点的4英寸扬声器，却唯独没有中波磁棒天线。

伊顿E1 XM多功能收音机是由美国ETON（伊顿）公司设计、在印度装组，能接收美国XM卫星广播电台。伊顿E1[原始公告为：根德SATELLIT900（中文为：根德卫星系列900型收音机）]是世界上第一台综合了中波、调频、短波和XM卫星广播(DAB数字音频广播)于一身的超级高性能收音机，由RL德雷克公司和XM卫星广播公司联合开发，研制历程超过10年，E1可以称得上是紧凑的便携收音机。就是这样一部集各项高科技于一身的多功能高级收音机，居然没有中波磁棒天线，中波电台的接收只能靠拉出拉杆天线来接收信号，如果不拉出拉杆天线，一点儿信号也收不到，使稍为有一点无线电常识的人都会被它“雷倒”。



伊顿E1XM喇叭面板

伊顿E1XM屏幕

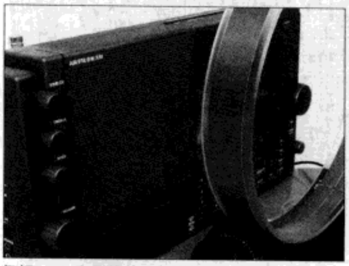
尽管伊顿E1 XM一出生就备受各界收音机爱好者强烈关注，赞美之声也不绝于耳，但白璧微瑕，没有中波磁棒天线就成了伊顿E1 XM在爱好者心中永远的痛。

就在面对伊顿E1 XM的中波接收一筹莫展的时候，突然想起购买德生S2000的时候，德生公司免费赠送的一款中波天线AN-100天线，德生AN-100中波天线是德生公司推出的天线新品。它能增强中波接收能力、改善中波接收效果，又具有摆放灵活、操作简单的特点，适合在中波信号微弱的场合使用。德生AN-100中波天线虽然结构简单，但其造型却很漂亮，采用圆弧形黑色底座设计，大圆形的透明天线框架，配大红色的漆包铜线，使人感觉艳而不俗，漂亮大方。

用德生 AN-100 中波天线与伊顿 E1 XM 收音机联姻，说干就干！从柜子里面拿出德生 AN-100 中波天线，取出配套的连接线，一头连接好中波天线的信号输出插孔，正当准备连接伊顿 E1

XM 的天线插孔时，才发现伊顿 E1 XM 的插孔与 AN-100 中波天线插头不配套。AN-100 中波天线的输出插头是 3.5mm 的双芯插头，而伊顿 E1 XM 的天线输入插孔是跟电视机天线输入孔一样的插孔，根本没有办法插入。正看着伊顿 E1 XM 天线插孔一侧发呆，突然看见最上面一个插孔是 3.5mm 的孔，可是孔上面标的文字是 LINE IN，意思就是音频输入插孔。就是这个插孔，以前当我试音频输入时，要在伊顿 E1 XM 软件设置正确才能使用音频输入功能，具体设置是：打开伊顿 E1 XM 的电源，收音机置于收音状态，再按机器右侧的“FM/AUX”按钮，选择“AUX”，机器才能播放从音频输入的信号，如果选择 FM，则是于 FM 收音状态。我想，既然伊顿 E1 XM 的音频输入功能要通过软件选择为音频输入状态“AUX”才能实现，那“LINE IN”插孔在收音状态，会是什么功能呢？抱着试试看的心情，我把德生 AN-100 中波天线信号插头插入到“LINE IN”插孔中，把伊顿 E1 XM 机置于中波收音状态，这时候意想不到的情况出现了，伊顿 E1 XM 在不拉出拉杆天线的情况下，竟能清晰地收听到中波电台的信号，好像伊顿 E1 XM 的“LINE IN”插孔也有天线输入的功能一样。

解决了天线信号输入的问题，接着就认真测试一下伊顿E1 XM用德生AN-100中波天线的效果如何了，先在伊顿E1 XM输入本地中波强台的频率1170kHz，慢慢旋动德生AN-100中波



伊顿E1XM和天线的局部照片

伊顿E1 XM功能和技术指标

功能：

1. 同时具备XM卫星收音机和数字音频收音机功能。
2. 短波提供可供选择的单边带接收，而且是连续不断的频率覆盖。
3. 采用二次变频电路设计。
4. 带同步检波功能的数字合成锁相环协调电路。
5. 具备带通调节以及可协调带宽的滤波器。
6. 具备存台扫描、检索功能，并且预置1700个存台。
7. 5.7英寸超大多功能点阵液晶背光显示屏幕。
8. 具备立体声线路电平自动输入、输出功能和外接天线接口。
9. 双时钟和可编程定时器。
10. 可调整打盹和睡眠时间。
11. 独立的高音和低音控制。
12. 可编程优先参数设置（开机默认参数设置）。

技术指标：

频率范围：调幅：100kHz～30MHz

调频：76～108MHz

电源：使用随机的电源匹配器，或7V～14V。外来直流电源，或4节一号电池。

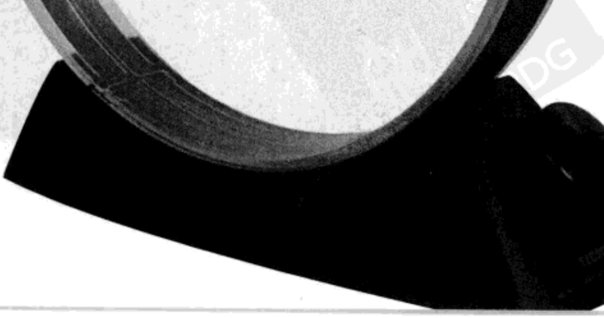
尺寸：33cm×19cm×8cm。

重量：约1.9kg（不含电池）。

德生AN－100中波天线技术指标：

1. 频率范围：540～1700（kHz）。
2. 输出阻抗：300Ω。
3. 输出接口：3.5mm迷你插座。
4. 可变电容：20～270pF。
5. 电感：347μH 0.8mm（线径）×28（圈数）×229.6mm（孔径）。

天线的频率旋钮，找[illegible]佳点，伊顿E1 XM的扬声器里传出[illegible]中波电台的清晰播音，到了晚上[illegible]，就接着测试接收远地弱中波电[illegible]效果了。输入湖北广播电台的频[illegible]kHz，旋动德生AN-100中波天线[illegible]率旋钮，找到最佳点，伊顿E1 XM[illegible]收到电台的播音（笔者在广东梅州东部，离武汉直线约2000多千米），再在收音机里输入高端频率1116kHz，也能清晰收到中央人民广播电台的广播，与德生的S2000收音机对比一下中波的接收情况，伊顿E1 XM用德生AN-100中波天线，其灵敏度大体与S2000相当，看起来，北美的小帅哥伊顿E1 XM与东方美女德生AN-100中波天线联姻真是珠联璧合、相得益彰，各自的技术特长发挥得淋漓尽致。



◎张建雄

十年修得同船渡

——我与德生收音机的不解之缘

有句俗语说到“十年修得同船渡，百年修得共枕眠”，说的是人要有十年修来的缘分，才能在同一条船上共度渡口，要有百年修来的缘分，才能在今生今世结为夫妻。而我与德生收音机的情缘，好像是前生就注定了要分不开、拆不散的。

初识德生收音机，是在《无线电》杂志的广告里，那是20世纪90年代，德生公司在《无线电》杂志投放了一些收音机的广告，使我知道在广东还有企业在生产收音机，而且是生产新一代的收音机。大家知道，收音机是20世纪80年代以前的主要电子产品，随着科学技术的进步，电子产品也不断地更新换代，电视机和计算机的出现，使用收音机的人们在逐渐减少，有些人甚至把收音机都忘记了。但有一群人，他们对收音机怀有深厚的感情，他们是听着收音机长大的人。有些人还是《无线电》的老读者，对收音机的那份情感，使他们永远忘不了神奇的“话匣子”。我就是这一群人中的一份子，从小就喜欢收音机的我，看见收音机就像久旱逢甘露，特别是对采用新技术的收音机，更是宠爱有加。

1996年初，我在《无线电》杂志上看见德生公司新生产出了一部PL757数字调谐收音机，看着PL757漂亮的照片，我是爱机心切。由于我身处山区小镇，没有德生产品的经销点，商场也没有经营德生收音机，如何买到我心爱的PL757收音机呢？我捧着《无线电》杂志考虑了好几天，最后我找到一个经营小电器的商贩，拿着刊登有PL757收音机广告的《无线电》杂志做参照，问他能不能进到这款机器。这个商贩看出我对德生收音机的渴求，答应我在他进货的时候，尽量帮我进一台PL757收音机。虽然售价300元一台的收音机已接近我当时1个月的工资了，但对收音机的爱好使我毫不犹豫地买下了这款收音机。

PL757是一部数字调谐、FM立体声的广播接收机，它带给我耳目一新的感觉，该机除了体积小、扬声器口径稍小、声音偏高音一些外，其灵敏度和选择性还是很不错的。PL757的质量也是数一数二，我这部PL757一直跟了我10多年，没有出现一点故障。后来，我从《无线电》杂志上看见德生公司生产出一款高级专业广播接收机HAM2000，售价在2800元左右，这个价格超出我的工资太多，加上当时正买房子用去不少钱，于是推迟购买这款高级专业广播接收机。哪知这犹豫铸成了永远的遗憾，之后HAM2000不再生产，在市场上再也买不到全新的HAM2000收音机了。

2003年秋天，我儿子考取全国重点大学，在他去读书前，我特地买了一台R911收音机给他作为听新闻广播之用。在2005年，我看见市场上有德生的交直流二用收音机R-306，抱着试试的想法买了一台，这是我的第三台德生收音机。在购买了第三台德生机后，我总结经验，因自己对收音机的要求比较高，因此决定今后只购买数字调谐的中、高档机，不再购买普通的收音机。

2007年，在无线电收音机论坛，有人在出售九成新的PL550德生收音机，价钱比新机便宜不少，而且附件齐全，于是便买下了这台PL550。PL550相对于PL757增加了许多的功能，个头也比PL757大了许多，音质也好多了，最主要的是PL550的操作相当人性化，增加了人机的亲和力。

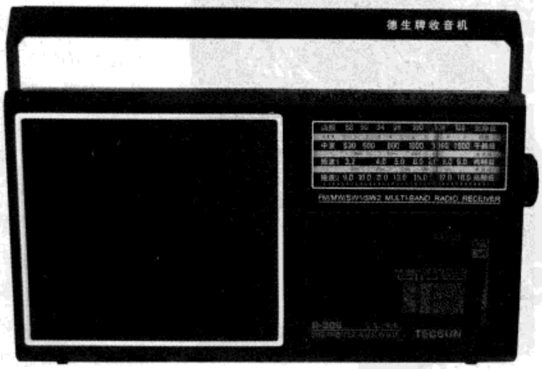
2008年底，德生公司推出一部现代收音机的颠峰之作——S2000高级收音机。众所周知，德生S2000收音机是HAM2000收音机的简化版本，S2000一面市，购买者络绎不绝，我也立即购买了一台。S2000进到我家，我立刻被它精美的外形吸引住了，S2000采用小台式的设计，两边有突出的提手，可以旋转的中波天线，闪闪发光的不锈钢调节旋纽，配合醒目的调谐指示表和超宽大的多功能屏幕，活脱脱地像一部军用电台。

欣赏完S2000的漂亮外表，该试试其内在功能怎么样了，打开收音机的电源，首先接收FM波段，把拉杆天线拉出三分之二，输入当地电台的频率（103.8MHz），S2000的扬声器马上传出张扬的甜美歌声“人间第一情”，声音美轮美奂，基本没有背景噪声，把S2000设置为立体声输出，关小一些音量，插上耳塞，耳塞里传来立体声的音乐，S2000的立体声分离度很好。试完当地强电台，再接收远地的电台看看效果怎么样，输入福建人民广播电台频率（96.5MHz），把拉杆天线全部拉出，能够清晰接收到该电台的信号，信号表的指针也能打到20dB以上，只有很弱的背景噪声，立体声分离度也很好。

试完FM波段，接着测试了中波和短波的接收性能，都能很好地接收本地和外地的电台信号，特别是短波的接收，自动增益控制做得很好，短波的信号接收比较均衡，很少出现声音忽大忽小的情况。因为当地附近没有机场，不能接收到航空波段的信号，有点可惜。S2000以它的良好性能和合理的价格，堪称是收音机中的战斗机。

德生公司当时出售S2000的价格是优惠网友的价格，初定的优惠期到12月上旬结束，在快到优惠期结束的时候，依据S2000的优异性能和对收音机的爱好，我决定再买一台S2000，用一台看一台，以满足自己对好收音机的喜爱之心。两台S2000收音机的到来，犹如虎豹双雄，给我的收音机收藏增添了不少的风采。

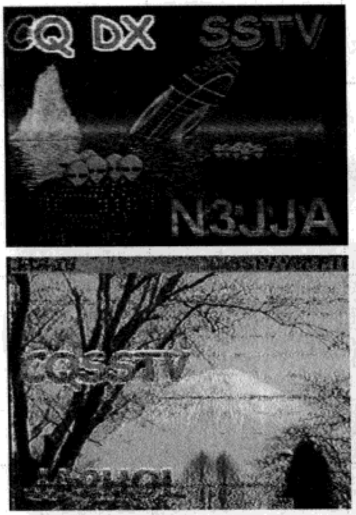
以后，我又陆续购买了几台德生收音机，与德生公司的缘分越来越深。2008年底，德生公司老总梁伟等一行收音机爱好者来我这梅州参观客家土楼和客家风景，使我有机会认识德生公司的当家人——梁伟。认识了梁伟，使我从德生公司的发展对中国的收音机产业有了进一步地了解。从喜欢无线电到爱好收音机，再到认识德生公司，仿佛是上帝给了我与德生公司的缘分，愿这缘分如长江之水，源远流长。



业余慢扫描电视（SSTV）通信

◎吴国光（BA7IA）

业余慢扫描电视通信（SSTV）是目前比较活跃的一种业余无线电通信活动方式，SSTV能够以一般话音信号的带宽，在相当大的QRN情况下，采用业余短波频段向远隔千里之外的业余无线电台传送色彩艳丽的图像，其巨大的魅力吸引着很多HAM加入到这一活动中来。



SSTV传输的图像

普通的电视（TV）为了传送活动的画面图像，需要每秒传送50幅画面（隔行扫描），所占用的频带宽度达6MHz。因此，传输所用的频率需要甚高频（VHF）、特高频（UHF）或者更高的频率。业余短波频段达不到这个要求，因而难以传送一般的电视信号。

业余无线电爱好者对如何在业余短波频段中进行图像传输一直在不断地研究和试验，最终SSTV的爱好者们用图像信号的慢变化来减少所占频带的宽度，在短波上采用几秒钟传送一幅图像的办法，使在短波波段传送图像的愿望得以实现。

SSTV的基本技术

慢扫描电视技术可以通过普通的3kHz话音通道传输画面，所以业余无线电爱好者的这项技术也被运用在其他领域中，称为“静止画面传输”。SSTV是把一幅静止的图像经过编码转化成带宽很窄的音频信号，然后输送到业余无线电台进行调制，最终变成无线电信号发射出去。 在接收端，电波经解调后恢复成发射前的音频信号，使用解码器解调后还原成图像。SSTV信号占用带宽只有1.0～2.5kHz，与语音信号不相上下，因此可以采用普通话音调制的所有方式进行调制，不需要对现有的业余无线电收发信机进行任何改造，实现起来非常容易，通过短波的超视距传输使SSTV信号具有DX通信的能力。SSTV把不同亮度和颜色的信号多次分时进行传送，因此，在某一瞬间的干扰对传输画面的影响很少，而且，不同亮度和颜色是用不同的音频频率信号来表示，属于等幅调频信号，因此对信号的衰落和波形的失真不敏感，使SSTV信号具有很好的抗干扰和抗衰落的特性，保证信号经过恶劣多变的漫长传输路径以后，仍然能很好地还原所传输的画面信息。如果通过计算机的软件进一步对信号进行容错补偿以及对画面进行相关性的后期处理，还可以更进一步提高所还原的通信图像的质量。

一幅画面包含着大量的信息，不可能同时从无线电信道中发送出去，必须把它分割成许多微小的、具有均匀亮度和色彩的单位，按不同的时间和顺序加以传送。每一个这样的最小单位叫做一个像素。显然，把画面分割得越细，得到的像素就越多，就越能呈现出图像的细节，因而影像就越清晰细腻，影像质量就越高。每秒钟内传送的像素越多，所需要的频带就越宽，所得到的影像也越清晰。基本标准SSTV画面的宽高比为4:3，画面有效部分多由每行320像素、每帧240行构成，因此，构成一幅SSTV黑白图像画面总共有76 800个像素。

为了对像素进行传输，按照一定的顺序逐点地扫描画面的像素，并将像素的亮度信息转换成电信号。采用这种化整为零、逐个传输的方法就能把按画面几何位置分布的亮度变化转变成随时间变化的电信号。在电视技术中，对画面像素的扫描通常是自左而右，自上而下地匀速进行，从画面左端扫到右端叫做水平扫描或者叫行扫描；自上而下地对画面扫描称为垂直扫描，或叫帧扫描。每秒钟扫描的行数称为行频率，单位为“行/秒”。每秒钟扫描的帧数称为帧频率，单位为“帧/秒”。由于SSTV一帧画面经常需要几十秒钟才能传输完，所以经常用多少秒来描述画面的传输速度，而不像一般电视广播那样用帧频来表达。

当一行扫描完成后，需要迅速地从最右端跳回到下一行的左端，一帧扫描完成后也需要迅速地从画面的最下端跳到顶端，这个过程叫做回扫，也叫逆程，所需要的时间分别称为行回扫时间和帧回扫时间。在进行回扫的过程中并不传送图像信号，SSTV利用这个逆程时间的空隙插入传输同步信号和叫做

VIS的插入信号，VIS信号载有一些诸如呼号、软件版本信息以及SSTV制式标准识别代码等信息，方便在对信号进行解码时让软件读出识别。

在对图像画面进行扫描传输的过程中，接收端显示画面像素的扫描速度和方式必须要与发射端的步调完全一致，为此必须保证两个条件：即收发两端扫描的频率要相同，每行和每帧开始扫描的位置要一丝不差（即相位相同）。这种强迫它们频率和相位一致的过程叫做同步。为了实现同步，发送图像信号时需要在每一行即将开始之前或每一帧即将开始之前穿插发送特殊的脉冲信号，分别称为行同步脉冲和帧同步脉冲。如果接收端的行频略高于发送端，收到的画面会上端向左、下端向右地倾斜，变成平行四边形。如果接收端的行频高于发送端太多，倾斜得太厉害，行回扫时间和被严重压缩的图形会交替形成上端向左、下端向右的粗条纹。若接收端的行频偏低，则发生相反的倾斜。而如果接收端的帧频高于发送端，收到的画面会发生向上移动的现象。帧频高得越多，移动翻滚的速度越快。相反若接收端帧频偏低，则接收到的图像向下移动翻滚。如果收发双方行频、帧频完全一致，但是扫描的初始时刻不同，接收到的画面稳定，但是在屏幕上的位置不对。

黑白SSTV通常采用1900Hz的音频作为副载频，用扫描得到的图像信号对其进行频率调制（SCFM）。其中，1200Hz代表同步脉冲信号，1500Hz代表黑电平，2300Hz代表白电平，信号带宽为1.0~2.5kHz，在整个信号传输过程中调制后的信号幅度没有变化。将此音频信号送到业余无线电收发信机中进行SSB调制发射出去。常见的黑白SSTV制式标准有3种：8.5s（128行）、17s（256行）和34s（256行）。传输的画面像素越多，影像清晰度越高，所需要的时间就越长。

彩色SSTV的调制方式与黑白SSTV相似，同样是对1900Hz的音频副载频进行调频，1200Hz代表同步脉冲信号，1500Hz代表黑电平，2300Hz代表亮度最大的电平，信号带宽为1.0~2.5kHz，已调制信号为恒幅信号。但是每一行像素的已调载频信号分成3组，互相之间用很窄的1200Hz分隔信号隔开，它们分别代表不同彩色的亮度，最后将此音频副载频信号送到收发信机中进行SSB调制发射出去。多数画面的有效部分由每行320像素、每帧240行构成，一幅画面共由76 800个像素构成。彩色SSTV制式标准中最常用也是最易理解的编码方式就是RGB方式，或称彩色顺序制。这种方式将图像分解为红、绿、蓝3个基色进行像素的扫描，然后按照一定的次序，将对每个基色的画面扫描得到的亮度信号变换为不同音调逐一发送出去。发送的顺序一般为红色-蓝色-绿色，三基色中的每一种基色信号在发送时都使用相同的速率，因而发送的时间也是相等的。SCOTTIE和MARTIN制式便是这种方式的代表，根据不同的具体方式其彩色的传送顺序也有所不同。另外一种常用彩色SSTV制式标准就是分别传送亮度信号和色差信号的YC制，这种制式和我们普通彩色电视所采用的方式一样，根据人眼对不同颜色的敏感程度以及亮度方程式，系统只需传送亮度信号和两种色度信号，其中没有传送的一种色度分量可以使用数学方式恢复出来。

事实上，SSTV中YC制式的产生是为了有效缩短图像的传送时间而出现的，因此实际在使用YC制式时对C信号都采用了形式各异的压缩处理，典型的做法是将两路色差信号压缩成一个Y信号的周期来发送，即时间压缩法，或者将两个色度信号在奇偶行分别发送，即所谓的空间压缩。

彩色SSTV有若干种常用的方式，

表1　几种常用SSTV制式的数据对照表

制式名称	模式类别	颜色类型	传输时间(s)	扫描线数	每像素传输时间(ms)	VIS	标题行
AVT	24	RBG	24	120	260	64	16
	90	RBG	90	240	489	68	–
	94	RBG	94	200	489	72	–
	188	RBG	188	400	489	76	–
	125	BW	125	400	489	80	–
Martin	M1	RBG	114	240	454	44	16
	M2	RBG	58	240	214	40	16
	M3	RBG	57	120	454	36	8
	M4	RBG	29	120	214	32	8
	HQ1	YC	90	240	535	41	16
	HQ2	YC	112	240	666	41	16
Robot	8	BW	8	120	181	2	16
	12	BW	12	120	275	6	16
	24	BW	24	240	275	10	–
	36	BW	36	240	431	14	–
	12	YC	12	120	183	0	16
	24	YC	24	120	284	4	16
	36	YC	36	240	275	8	16
	72	YC	72	240	431	12	16
Scottie	S1	RBG	110	240	432	60	16
	S2	RBG	71	240	275	56	16
	S3	RBG	55	120	432	52	8
	S4	RBG	36	120	275	48	8
	DX	RBG	269	240	1079	76	16
Wraase SC–1	24	RBG	24	120			8
	48	RBG	48	240			16
	96	RBG	96	240			16

注：BW–黑白方式；RBG–红、绿、蓝分别顺序传送方式；YC–亮度和色差信号传送方式。
VIS–场消隐期插入信号。

它们的信号传送方法有些差别，以达到不同的效果。采用RGB顺序传送方式的图像质量比采用亮度-色差的好。同样，图像分辨率越高，传送所需要的时间越长。表1为几种常用SSTV制式的数据对照。

通常亚洲和美国的电台大多使用Scottie1（S1）制式，欧洲电台则喜欢使用Martin1（M1）制式。另外ROBOT制式也经常使用，国际空间站（ARISS）的业余无线电就是使用的ROBOT 36方式播发SSTV图像的。

目前业余慢扫描电视通信操作大多采用个人计算机来进行，通过个人计算机的声卡来充当SSTV信号的AD和DA转换器，而编解码工作则由相关的软件担任，因此，一个软件往往可以兼容处理几乎所有的SSTV制式标准的信号。同时，对于SSTV的操作并不要求PC机有很高的性能，早期甚至采用386的CPU和DOS操作系统也可以进行操作，今天能跑Windows操作系统的PC机就更不在话下了。因此，采用个人计算机来操作SSTV具有成本低，性能好，操作简便、智能化和自动化等优点。这是业余慢扫描电视通信能日益普及的最主要原因之一。

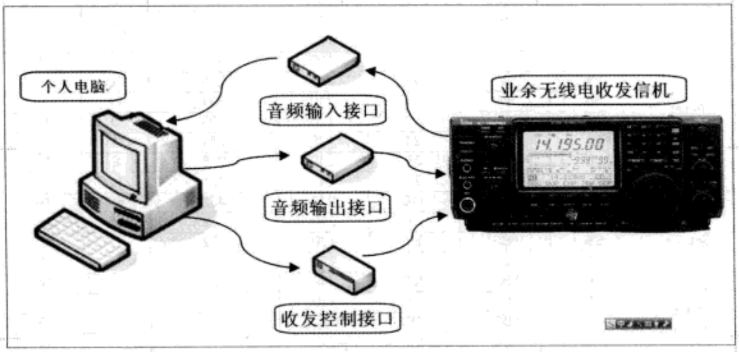
SSTV的操作

随着个人计算机的日益普及，而且开发出了多种SSTV的软件，现在用计算机加电台来实现SSTV通信是很容易的事了。

1. SSTV的系统构成

近年来，由于计算机性能的大大提高，尤其是带有数字信号处理能力的声卡的出现，使得SSTV的信号收发处理工作都可以由PC机内部的硬件在适当的SSTV通信软件的控制下完成，所以现在所需的收发信机以外的设备器材只是一台计算机和一套连接收发信机及计算机的接口电路。SSTV的基本系统的构成如图1所示，计算机通过接口与收发信机进行连接，计算机上的声卡完成SSTV信号的收发编解码，计算机中的应用软件完成其他的处理工作。由计算机的COM口控制收发信机的收发转换，通过接口电路完成信号的电平调整转换和信号的隔离。通常这些接口的电路是做在一起的，由于电路相对比较简单，因此，很多HAM都是自己来制作这些接口。

对于不同的SSTV操作软件，有可能其接口的电路会略有不同，有的采用音频变压器隔离，而有的则采用光电耦合器进行隔离等。



业余慢扫描电视通信系统的基本构成

2. SSTV的主要使用频率

随着SSTV通信方式越来越活跃，

太空站SSTV

HAM约定俗成一些SSTV的呼叫频率。规定这些SSTV的使用频率，一方面是由于SSTV的QSO信号比较特殊，需要几十秒钟的长时间发射占用着频率，这样做可以减少对其他通信方式的相互影响。另一方面，也可以使各地的SSTV爱好者很容易地在这些SSTV呼叫频率中找到他们的通信对象。表2是目前SSTV方式主要的使用频率。

在表2中，其中最活跃的是7.033MHz、14.230MHz、21.340MHz和28.680MHz这些频率，只要有传播，大多能收到信号，有时甚至在这些频率上下10kHz都拥挤着SSTV通联的信号。虽然上述的频率点并没有明文规定是作为SSTV通信用的，但是为了对SSTV爱好者的尊重和支持，如果不是要进行SSTV操作，请不要轻易地占用这些频率来进行其他方式的通信。

3. SSTV的信号报告

由于SSTV通信是进行图像的通

表2 SSTV呼叫频率表

频段	频率（MHz）
80m	3.845（LSB）
40m	7.033（LSB）
20mDX	14.230（USB）
20mJA	14.280（USB）
17m	18.160（USB）
15m	21.340（USB）
12m	24.980（USB）
10m	28.680（USB）
6mDX	50.300（USB）
6mJA	50.350（USB）
2mJA	144.435（FM）
ARISS	145.800（FM）

表3 图像质量等级划分

等级	图像质量
1	噪声干扰很大，不能正确显示图像
2	噪声干扰较大，可以看到图像
3	有噪声干扰，但不影响图像的观看
4	偶有干扰，但几乎感觉不到
5	图像质量很好，没有干扰

信，因此信号报告的形式从通常的RST变为RSV。前面两部分和平常的相同；R代表信号的可辨度，分为1~5级，5级为最佳。S代表信号的强度，分为1~9级，9级为最佳，通常以收发信机上的S表读数给出。V代表图像质量，分为1~5级，5级为最好，其定义的标准见表3。

因此，SSTV信号报告RSV为595是表示最好的接收效果。

由于进行SSTV通信时，SSTV信号的平均功率比通常话音要高，因此采用SSB调制方式时，收发信机的负荷比较重（若采用FM调制方式进行传输则没有这样的问题）。收发信机需要长时间满功率地发射，因此要注意机器和电源等的散热情况。对于比较老式的收发信机，建议采用50%的输出功率进行发射，以确保机器的安全。同时也要调整好天线和收发信机之间的匹配，如果匹配不好的话，会加大末级功率放大管的功耗，更加重对收发信机和电源的负担。

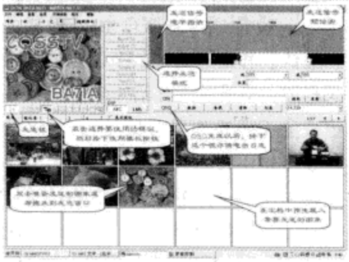
近年来，随着数码相机和笔记本电脑的普及使用，有很多HAM在进行郊外旅行时，把旅途上的景色通过SSTV的方式传送给大家分享。许多SSTV爱好者采用VHF和UHF用FM调制的方式来进行SSTV的通联。采用FM进行传输，没有信号衰落现象，信号噪声小、质量好，更容易得到很好的图像效果。在移动通信时，可以相互发送路牌路标、路面交通情况的照片和地图资料等，更可以在发送的照片中叠加上GPS定位信息，方便车队集结。在各地有越来越多的HAM采用V/UHF在本地进行SSTV通联，互相交换他们的照片。

SSTV常用软件——MMSSTV

随着SSTV活动的不断普及，有很多HAM编写出很多功能齐全，方便实用的SSTV操作软件，常见的SSTV软件有MMSSTV、W95SSTV、Win PixPro、ChromaPix、WinSkan等。另外还有像Ham Radio Deluxe这样的集成综合软件，把包括SSTV在内的绝大多数的通信方式和许多的操作功能都集成在一起。但是功能太多的软件需要漫长的学习掌握时间，有时使用起来没有专门软件那么便捷。

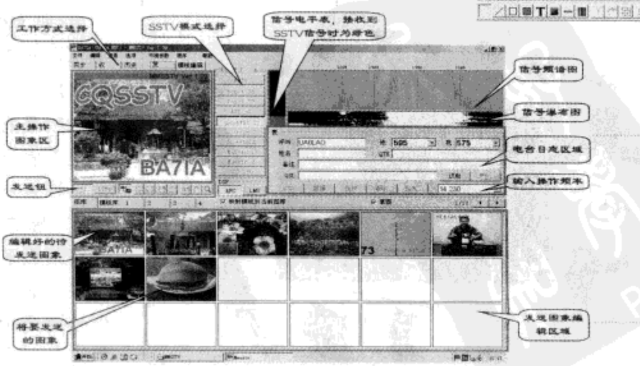
在业余慢扫描电视（SSTV）领域里，比较著名的是由日本HAM JE3HHT所开发的名叫MMSSTV的SSTV软件，世界上使用这个软件的人也比较多。我们可以在 JE3HHT的主页**mmhamsoft.amateur-radio.ca/**里下载最新的MMSSTV v1.11G英文版本以及 JE3HHT的其他软件作品。在链接**www.qsl.net/bg2ld/cmmsstv1.Exe**中可以下载到由BD2LD所汉化的MMSSTV v1.00版程序包。在链接**www.hellocq.net/forum/attachment.php?attachmentid=174711**中可以下载到由BD2KU所汉化的最新MMSSTV v1.11版程序包。

它是一个真正的免费软件，使用时完全不需要交费和注册登记。该软件本身带有编辑器，可以对发送的图像和叠加的信息进行各种处理。它能够适用很多的 SSTV 模式，除了常用的 SCOTTIE，MARTIN，ROBOT……模式外，它还适用于其他许多极少用或仅在试验阶段的 SSTV 模式。程序能自动地识别所接收信号的模式，并把他们进行解码。它能很容易地自动精确调整同步频率，纠正图像斜度。它本身带有电台通信日志，便于对通信情况进行电台日志记录。



MMSSTV发送界面

MMSSTV汉化版可进行中文编辑



MMSSTV主窗口

CW爱好者的福音
——音频滤波器DIY（1）

◎阮东升（BA6QRP）

短波DX通联魅力无穷，初学者随着操作电台时间的增加和经验的积累，在初步掌握了字母解释法和莫尔斯电码后，会逐步由VHF/UHF频段的本地通联过渡到短波远距离通联，这时他们都会被这个波段电波传播的奇异性所迷倒，因为操作者不知道何时会与何处的远地DX电台沟通上，与VHF/UHF频段不同，这个波段里特有的背景噪声时常折磨着人的耳朵。不可否认的是，随着电磁环境的日益恶化，尤其是在城市里居住的爱好者，无不被其巨大的背景噪声所困扰，在低波段更是如此。其实，CW模式占用的带宽很窄，因此有许多CW爱好者为自己的爱机四处搜寻专用于CW的窄带滤波器，这些滤波器加装后的效果可谓立竿见影，背景噪声将降低许多，使得淹没于噪声中的微弱信号突显出来，从而能顺利完成美妙的DX通联。但是这些成品的窄带滤波器厂家一般是作为选配件，对于一些老设备难以找到与之相配的滤波器（如现在爱好者手中拥有量较多的FT-80C、IC-725A等），即使找到也是动则几百上千元的天价，为此笔者参照国外HAM所做的一些电路，DIY了几款音频滤波器，花费不多，效果却不错。

由LC器件组成的无源滤波器

一般音频滤波器可由LC组成的无源滤波和运放组成的有源滤波电路来构成，下面首先介绍一款由LC器件组成的无源滤波器（见图1）。这款滤波器是由日本火腿JH1FCZ大久保忠先生设计，图中由一个高通滤波器（L1、C1、L2组成）和一个低通滤波器（C2、L3、C3组成）构成了一个带通滤波，再由C4耦合到另一个带通滤波器（L4、C5、C6组成），进一步滤波后输出。该电路消除了普通的单纯由L、C并联谐振无源滤波器产生的不稳定性，图中的L选用的是磁封大体积立式27mH电感，C选用的是CB电容，相关元件收集齐全后就可以着手准备制作了（图2）。由于电路比较简单，笔者决定采用2009年第2期《无线电》上《选对洞洞板焊电路》一文介绍的洞洞板来制作，这也是笔者第一次使用这种方法来进行DIY，感觉与用印制线路板来做还是有很大的不同。首先是要把元件插到板子上，模拟一下

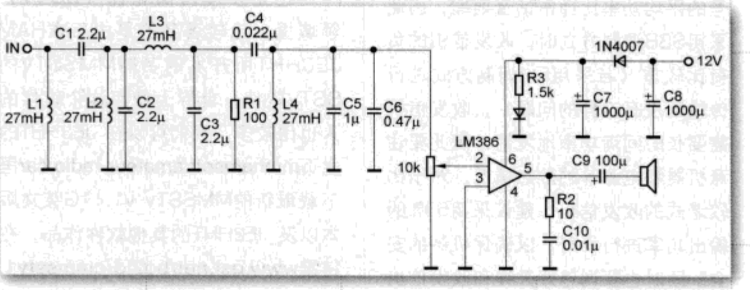


图1 LC器件组成的无源滤波器电路

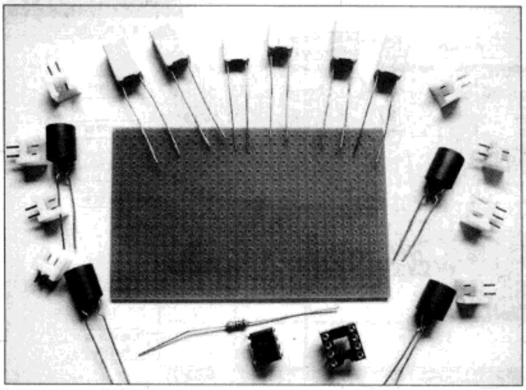


图2 准备的元器件

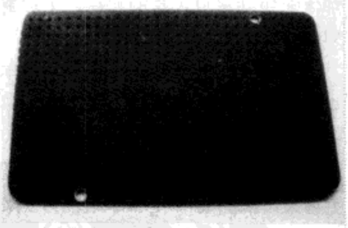


图3 选用的“洞洞板”

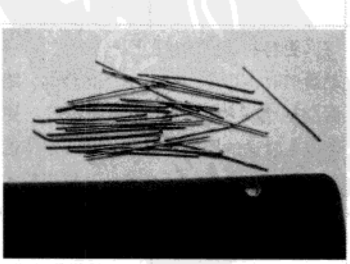
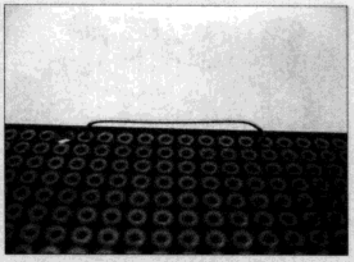
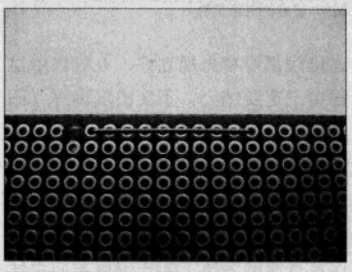
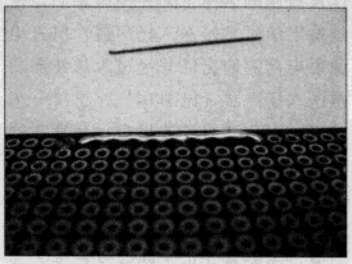


图4 元件引脚







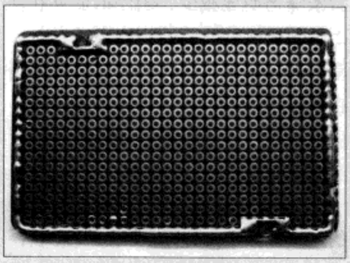


图5 用这样的方法焊一圈做公共地线

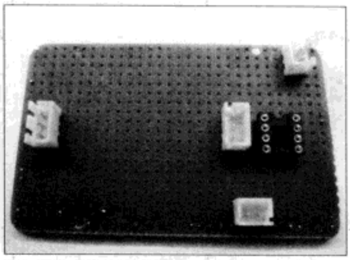


图6 要考虑接插件的布局

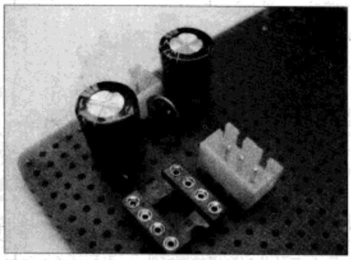


图7 在电源端接入二极管IN4007

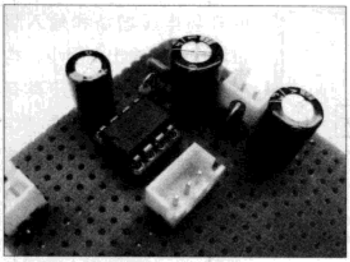


图8 安装低放及其周边元件

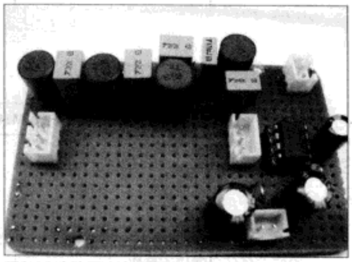


图9 LC滤波器靠电路板上方进行安装

元器件的布局，其次是根据板子的大小选好机壳，这一切都要做到心中有数，如此在制作过程以及最后的收尾阶段方可一气呵成。具体制作的时候先对照机壳在板子上打好2个固定孔（图3），焊接之前准备一些以前制作时剪下来的元件引脚（图4），把这些引脚插到板子上做连接线，然后用锡焊到板子上，这就如同建筑上的钢筋骨架，焊接起来比较方便，比单纯用焊锡连接容易掌握并且牢靠得多。先用这样的方法沿着板子的边缘焊一圈作为公共地线（图5），地线布置完毕后将各种接插件按照布局的构思先焊接好，注意相互之间的比例与距离（图6）。下一步就可以使用我们常用的模块安装法来进行制作，这里笔者想强调的是，在电源输入端需接入一个防电源反接的二极管1N4007（图7）。很多朋友忽视了这一点，有时辛辛苦苦DIY的作品因一个疏忽将电源反接而造成损失。接着安装低放LM386及其周边相关元件（图8）。安装完成后接入电源、扬声器，手拿镊子碰触LM386的第一脚，扬声器里发出较大的噪声则证明这一部分安装正确。接着对照电路图安装LC滤波器，考虑到下一步还要安装有源滤波器，因此将这一部

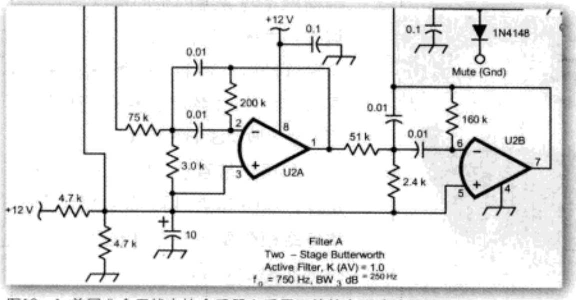


图10－1 美国业余无线电协会手册上采用运放的有源滤波器原图

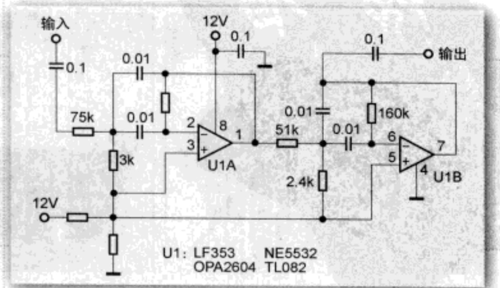


图10－2 笔者采用的电路部分

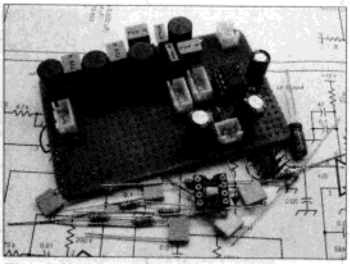


图11 开始组装有源滤波电路

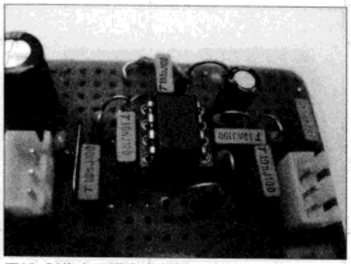


图12 制作中不要出现漏焊

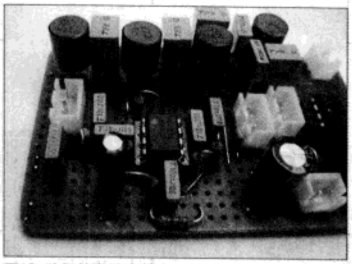


图13 装好的电路实物

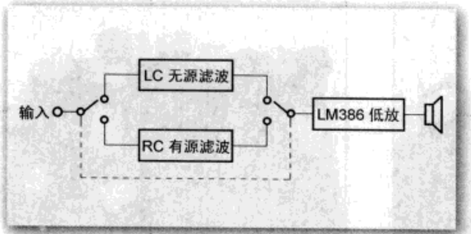


图14 双掷双刀开关连接示意图

分靠电路板上方进行装配（图9），仔细检查无误后即可接入信号进行试听。由于LC滤波衰减极大，接扬声器会感觉到音量较小，接耳机后则正好，背景噪声会有显著减小。

LC滤波器虽然简单，但相关的电感、电容并不是很好寻找，尤其是其中的电感，笔者也是经过长时间的搜索才在网上购得。那么有没有使用较为易得的元件做出效果较好的滤波器呢？回答是肯定的，那就是使用运放来制作有源滤波器，由运放和RC网络构成有源滤波器，与无源的LC滤波器相比，它具有不用电感、体积小、效率高、频率特性好等优点。集成运放的开环电压增益和输入阻抗均很高，输出电阻小，构成有源滤波电路后还具有一定的电压放大和缓冲作用，笔者在这里采用的是美国2008年版《业余无线电手册》第12章“RF and AF Filters”一节里的一个实例，（见图10）。在该章节里对用运放构成的高通、低通、带通以及带阻滤波器电路的计算有详尽的介绍，大家可以参阅。该电路构成非常简单，由二阶巴特沃兹（Botterworth）滤波器组成，中心频率为750Hz，在衰减为-3dB时的带宽为250Hz。原文介绍说可以运用于大多数QRP的CW收发机上，准备好相关元器件后就可以开始组装了（图11）。运放选择范围很广，LF353、NE5532、OPA2604甚至是几角钱的TL082都可以，笔者使用的是常见的NE5532。电阻、电容都是常见的标称值，在电子市场很容易购买到，也没有什么特殊的要求，由于不是使用的成品印制线路板，所有的连接线都要事先规划好，在制作的过程中一定要细心，不要出现漏焊（图12）。装好后的板子见图13。由于2个滤波器装在同一板子上，因此要用一只双刀双掷的开关来切换，同时用另一支双刀双掷的开关控制电源的通断以及直通的选择，即关掉电源后电台的输出信号直接送入扬声器，打开电源后电台的输出信号经过本滤波器后再送入扬声器（见图14）。这样一来就可以对滤波器的效果有一个直观的感受，装好后的整机见图15。笔者在试验过程中录了几段视频，可以看到使用有源滤波器后的效果十分明显，背景噪声明显减少，国外的朋友在网上看到视频后用了一个词“sweet”。笔者通过搜索发现该有源滤波器电路在美国2001版的《业余无线电手册》里已经有了介绍，可见该电路是经过实践考验的。

通过实际的对比，这2款滤波器的效果都很不错，只是LC无源滤波器的衰减太大，仅适合接耳机使用。虽然优点多多，但并非没有缺点，最大的问题是滤波器的中心频率固定不可调节，虽然750Hz的侧音音调对笔者而言悦耳动听，但并不是所有爱好者都喜欢，而且这2款滤波器的带宽较窄，不太适合收听SSB的通联。

如果您带着以上的遗憾，请不要走开，2009年第8期，笔者将会介绍2款电路稍微复杂一点但效果更好的音频滤波器给您。

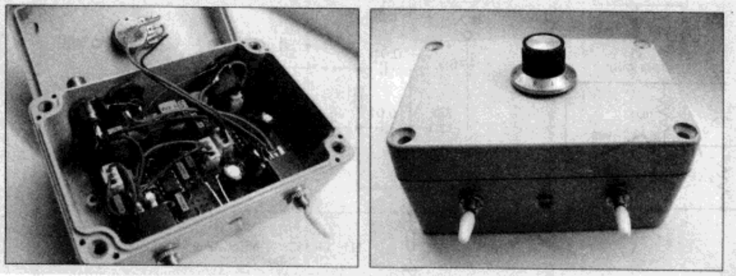


图15 滤波器整机及外观

驻波比表是用来测量射频传输系统中阻抗匹配状况的仪器，在业余无线电领域里，它是用来测试天馈系统最常用的仪器之一。它通过测量测试点射频正向功率和反向功率，以比值的形式反应匹配情况。驻波比的测量虽然与天线的发射效率和增益没有直接的关系，但它对保护发射机安全工作有重要的意义，驻波比异常也是天馈系统发生故障时明显的标志。大部分驻波比表还提供了功率测量的附加功能。

HAM设备实测报告

◎本刊测试员　杨法（BD4AAF）

“大红点”短波数显驻波比表试用报告

本次介绍的是“大红点”短波数显驻波比表，型号为2021A，主要设计者为BG1LQX。2021A是一款HF波段驻波比表产品，可测试1.6~60MHz范围内200W以下发射系统的驻波比，兼具功率测量和扩展平衡-不平衡转换器（巴伦）测试功能。我们拿到了大红点样机，进行了全面试用。

基本性能测试

我们准备了经过计量的R&S NRT NAP功率计/驻波比表作为读数对比，50Ω、75Ω、100Ω、150Ω负载器用于驻波测试，Icom IC-7000作为短波功率可调信号源、500W功率放大器作为高功率信号源。由于IC-7000不是严格意义上的功率连续可调，所以在功率测量测试时，用NRT和NAP两款德国仪器级参考功率表，配合同样的负载器作为实际端口功率参考，同时也可以避免由测试电缆功率损耗引入的误差。

首先我们做驻波比测试，将电台功率设置到70W左右，通过电缆依次连接到“大红点”2021A驻波比表和NAP对比功率计，依次使用50Ω、75Ω、100Ω、150Ω负载器对比“大红点”2021A和NAP读数以及理论驻波比。为了减小误差，负载器直接与被测仪器天线输出端连接。使用2021A驻波比表最方便的地方是不用每次校准满刻度后再读取指针表盘上的读数，直接从液晶显示屏上读取驻波比数值就可以了，还能同时看到实际正向和反向功率。

接着我们进行了功率测量测试。一般驻波比表驻波检测比较容易做，而在较宽带宽、较大范围下实现准确的功率测量就比较难了，这与产品的定向耦合器性能和电路设计有密切关系。即便一些在业余电台界很有名的日本进口产品，其功率测试准确度也才为5%~10%。

功率测试

测试中我们继续提高功率，2021A驻波比表在显示到202.4W以后就无法显示了。

当然目前业余电台的主流短波机输出功率在100W水平，即便是高功率版本峰值功率也就在200W，所以这个表基本够用了。如果你要连接更大功率的发射机或功率放大器使用，那么“大红点”驻波比表系列还有2000W级别的产品。

最后我们测试了一下2021A驻

驻波比比照测试

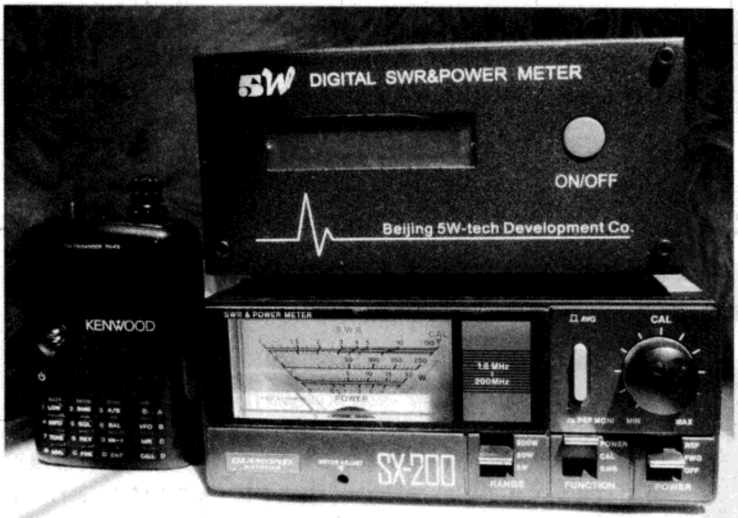
	理论驻波比	2021A	NAP
50Ω负载	1.00	1.05	1.02
75Ω负载	1.50	1.54	1.53
100Ω负载	2.00	2.06	2.02
150Ω负载	3.00	3.08	3.04

注：f=29.600MHz　P=70W

功率比照测试

参考功率	2021A	NRT	NAP
1W	0.819	0.987	0.985
5W	4.682	4.94	4.94
10W	9.680	9.97	9.96
50W	49.20	50.0	50.0
100W	100.5	100.4	100.3
150W	150.8	150.2	150.2
200W	200.7	200.1	200.1

注：f=29.600MHz　Z=50Ω



"大红点"2021A(上)与Diamond SX-200（下）

波比表的插入损耗和驻波比劣化情况。我们的测试点在短波频段的高段29.600MHz，频率较高更容易看出插入损耗，实测插入损耗为0.08dB。如果转换成大家比较有感性认识的数据，比如输入70W功率经过被测器件后损耗约1.278W，最后输出68.72W。我们在一个端口驻波比1.04的系统中接入被测驻波比表，端口驻波比劣化为1.07。由此看来，2021A驻波比表插入损耗控制得不错，长期串在天馈系统中用于系统监测也完全没有问题。

总体来看，2021A驻波比表测量准确度还是相当不错的，在某些方面甚至优于一些日产商业产品。在小功率状态下2021A驻波比表依然有较好的表现，这就意味着配合一些QRP的发射机，如FT-817之类，依然具有实用意义。

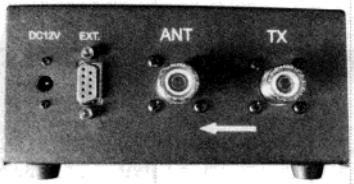
"大红点"2021A前面板

外观与设计

2021A驻波比表采用卧式机壳，实测尺寸为140.5mm×67.6mm×99.4mm，略小于业余电台界用得较多的日本Diamond公司SX-200驻波比功率表。

外壳采用1.2mm钢板制成，比较厚实，底部装有橡胶垫脚。卧式表的好处是可以方便体面地放在电台桌上作为监测天馈系统之用。有很多入门级业余短波电台和专业短波电台都没有提供机内驻波比显示功能，为了检测天馈系统的状况需要外置一块驻波比表，由于短波频率相对较低，仪器插入损耗也较小，所以很多HAM将驻波比表长期串入天馈系统做监测之用。

2021A驻波比表采用带背光的液晶屏显示，所以尽管其定向耦合器无需电力支持，但由于整机由单片机控制，显示也为液晶器件，所以整机依然需要外部电力供应。2021A驻波比表标称输入电压为9~16V，如果作为固定使用，可以方便地借用13.8V电台的电源系统。2021A驻波比表电源采用"软"开关，所以即便在关机状态下依然需要消耗一些待机电流。2021A驻波比表实测耗电在13.8V电压下，关机待机电流为3.7mA左右，开机液晶屏背光打开状态下，电流为25mA左右，开机液晶屏背光关闭状态下电流为近10 mA，总体来说，除了关机状态，实际工作功耗是很小的。



"大红点"2021A后部

2021A驻波比表面板非常简洁，除了液晶显示屏外，从开关到功能切换只用一个大面积的红色按键，这也是"大红点"品牌的由来，其公司出品的其他系列产品也秉承这一传统。

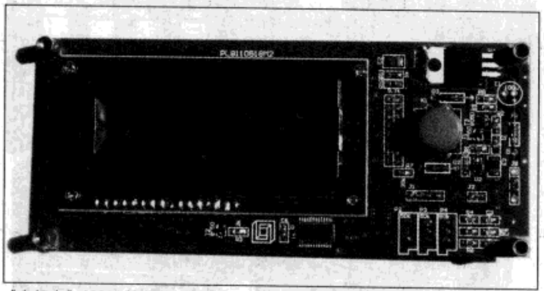
内部一览

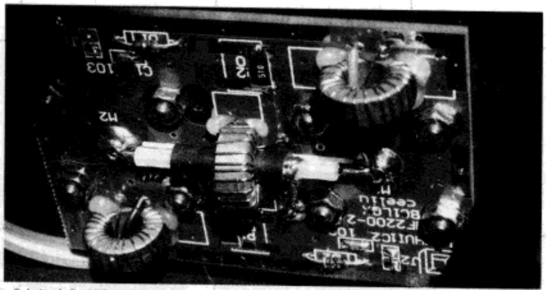
卸下底部的4个橡胶垫脚就能顺利拆开驻波比表。2021A驻波比表内部空余空间比较大，前后分别有两块线路板，线路板制作精美，由电脑布线，很专业，大量采用贴片元件。

位于前部的是控制和显示单元。单片机采用89LPC938，这是一片80C51家族8位处理器，具备10bitA/D转换功能。显示屏为通用的2行16字、带绿色背光的单色液晶屏。线路板上有3个多圈电位器，分别用于调整正向、反向、扩展探头的电压，可配合标准仪器用来校准驻波比表。线路板上还留有一排2×16的I/O接口用来维护单片机。

位于后部的是正反向功率检测单元，也称为定向耦合器，2021A驻波比表采用3磁环电路，优点是对称性较好，不需要微调。正反向功率检测单元输出正向功率和反向功率检测的电压数据给前部的控制单元。

作为单片机控制的数字显示驻波比表，可以通过高速A/D采样和单片机程序，实现诸如峰值保持、平均值计

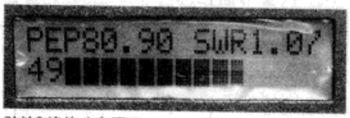

“大红点”2021A控制与显示单元


“大红点”2021A测量单元

综合显示界面

驻波&平均功率界面

驻波&平均功率界面



驻波&峰值功率页面

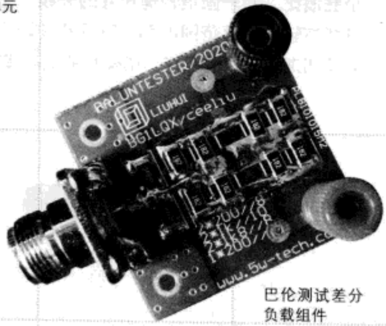
巴伦测试页面

算、多单位多格式显示、数据修正与补偿等功能。与常见的全分立元件模拟电路构成的指针式驻波比表相比，有些功能用纯模拟电路实现要复杂得多。在2021A驻波比表上，体现比较明显的是带图形的多种显示界面和dBm/W双单位显示。

系统与操控

“大红点”2021A驻波比表操作非常简单，完全都靠“大红点”一个按钮来控制。按下大红点按钮即开始工作。此时只要按下电台的发射键，就可以直接进入到第一个综合测量显示页面。如果不按电台发射键，再短按一下“大红点”按钮，也会进入第一个综合测量显示页面。接下来每按一次按钮则可以依次轮转综合显示页面、正向功率页面、驻波比页面、峰值功率页面、巴伦测试页面等5个测试页面，用户可根据实际需要选择合适的页面显示。

平衡-不平衡转换器（巴伦）测试功能是2021A驻波比表的一大特色，可以对巴伦进行驻波比和共模抑制比以及插入损耗的测量。要实现该功能，用户需要购买额外的探头和差分负载组件。在业余电台界，很多HAM都自己制作简单的短波天线，如水平天线、倒V天线、正V天线、温顿天线等，这些天线都需要使用平衡-不平衡转换器（巴伦）。出于节省资金的目的，不少HAM通过磁环或空芯线圈自己制作巴伦，制作巴伦使用的磁环特性、线材特性、制作工艺和方法都将影响到巴伦的特性。绝大多数HAM都没有用于专业测试的网络分析仪，一块普通的驻波比表和一个50Ω负载器往往是大部分HAM拥有的主流测量仪器。对于巴伦的制作基本停留在就地取材和按图索骥的水平，通常即便测试，也就要求驻波比不太高就行了。2021A驻波比表的巴伦测试功能会给用户在绕制和检测巴伦带来很多方便。2021A驻波比表差分负载组件采用较大



巴伦测试差分负载组件

功率的普通贴片电阻组合形成，测试功率可以承受20W左右。

产品改进建议

由于2021A驻波比表必须有电力才能工作，而且表内剩余空间较多，所以建议产品最好加装电池仓，这样会给一些现场测量带来方便。鉴于待机功耗问题可以在电池仓加装“硬”电源开关，防止电池无谓消耗。为了节能，可以设计在电池供电时默认背光关闭，这在单片机控制程序中很容易实现。

为了方便非专业用户能正确连接电源线极性，建议厂家在机壳加印极性标志的同时换用红黑分明的电源线。

为了进一步拓展一表多用，建议将检测单元独立出来，做成独立的探头单元，使得原来液晶显示部分也成为独立的控制显示单元主机，通过搭配不同标准的探头，使得主机具备不同频段、不同功率范围的探测能力，同时也使主机远离射频源。本文中用于测试对比的R&S NRT和NAP参考功率计也都是这样设计的。

电台天线调谐器选购指南

◎聆听

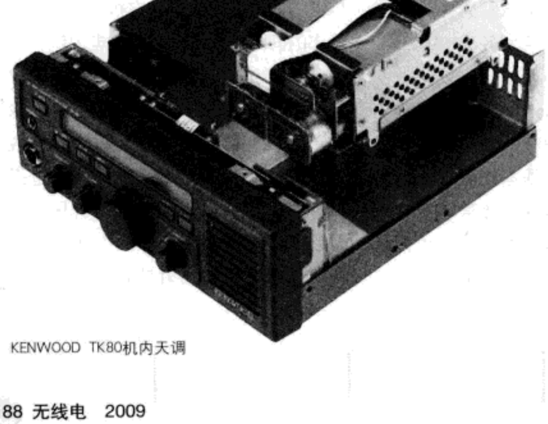
天线调谐器简称“天调”是电台发射机的常用设备，其主要作用是匹配天线与发射机输出端口的阻抗，这样有利于减小由于阻抗不匹配引起的驻波反射，也就是HAM中通常所说的减小驻波比。对于固定物理尺寸的天线，尤其是谐振型天线，不可能在较宽频率范围内都自然保持良好的阻抗匹配，所以就需要天调来完成匹配工作，这样也能提高传输效率。

天调的分类与特点

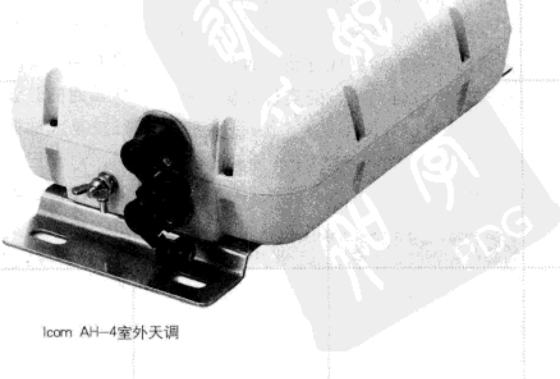
按照天调的应用和安装位置可分为机内天调、室内天调、室外天调。机内天调安装于电台内部预留的空间，一般都是电台对应型号的原厂专用组件。它的优点是整合性高，不占用电台外部的空间，由电台内部线路为其供电，也不需要独立的外部供电线路。原厂设计的专用产品与电台有最好的兼容性和操控性，有的产品还能通过电台的显示屏显示调谐信息，但它不属于通用产品，必须专款专用，定价也比较高。室内天调就是天调主机独立并置于室内，通常是靠近电台侧放置。室内天调大多具备独立的面板指示机构，如驻波比/功率显示、调谐指示等。室外天调就是将天调主机置于室外，通常是靠近天线侧，同时天调主机自身具有很好的防水性能，适应户外长期放置风吹雨淋的要求，但一般不具备状态指示面板。

按照天调的控制机制可分为通用型天调和专用型天调。通用型天调对电台的型号没有要求，通常除了射频电缆外，没有数据线与电台连接，通用性强，可以说是“百搭”的天调。但由于没有数据线与电台交换工作数据，所以与电台的协调性通常没有专用天调自动化程度那么高。专用型天调往往只能搭配某一品牌系列甚至某一型号的电台，大多数是电台厂家为自己品牌的电台所制造的产品，也有少部分是第三方厂家为一些热门型号电台所设计的产品。专用型天调通常都设计有通过数据控制线与电台交换数据，因此具有较高的自动化协同工作特性，比如自动降低电台输出功率、自动跟踪电台波段切换、通过电台面板启动调谐功能等。

按照天调的调谐机构控制方式可分为手动天调和自动控制天调。手动天调都属于通用型天调，其整个调谐过程都需要人工配合驻波比表显示来操作，结构简单易于自制，调节的范围也比较宽，通用性强，但调谐速度相对较慢，同时对用户操作的熟练程度和经验有一定要求。自动控制天调的整个调谐过程都由天调内单片机控



KENWOOD TK80机内天调



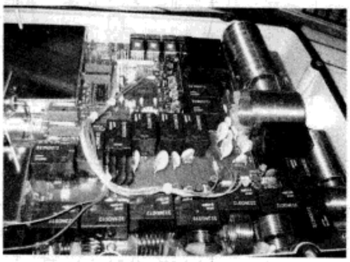
Icom AH-4室外天调

Kenwood AT-50天调的数据控制线端口

制，无需人为干预，用户要做的最多只是发布开始调谐的命令。其优点是操作简单，缺点是实现线路复杂，控制伺服电路成本高。

按照天调对应调谐天线的类型可以分为标准常规型天调和长线型天调，这是针对不同形式的天线而言。用于调谐宽带天线、水平天线、V形天线、八木天线等常见正规形式固定天线的天调称为常规型天调，这类天调绝大多数都是室内天调或机内天调。长线型天调只需要搭配一条一定长度范围的导线就能工作，但通常不能用于很好地调谐前面提到的垂直天线、八木天线等正规形式的天线。大家常见的ICOM AT-120、130 AH-3 AH-4都属于长线型天调。长线型天调特点是调谐范围大，如果你随便拉几米导线作为天线，普通常规天调很难有效调谐。

按自动天调的内部调谐结构，可以分为纯继电器切换调谐型和伺服电机与继电器混合调谐型。天调内部的主要调谐部件是可变电容和可变电感，纯继电器切换调谐型天调的内部基本机构是将一系列固定数值的电感和电容通过继电器选择性接入电路，这样就等效于可调电容和可调电感。优点是控制线路相对简单、成本低，调谐速度快，缺点是等效可调电容电


Icom AH-3室外自动天调内部图

感变化数值不是真正连续的，所以调谐精度不一定很高。

伺服电机与继电器混合调谐型天调，以采用电机来控制可旋转的可变电容和可变电感为主，继电器接入的固定数值电感、电容为辅。优点是可以实现连续调谐，调谐精度也容易做得比较高。缺点是对电机的控制比较复杂，成本也相对较高。这类混合调谐型天调通常多用于比较高档的室内天调和高档机的机内天调。

天调的主要参数

标志一部天调的性能以及是否能适应用户的使用需要，主要有以下几个重要参数。

工作频率 是指天调设计适应调谐波段的范围，不同工作频段的天调，其内部配置的电容和电感量是不同的。常见的天调大多是工作于HF波段，部分可工作于HF和50MHz波段。VHF/UHF的天调比较少见，这主要是V/U段天线带宽比较宽以及高频插入损耗的问题。

功率范围 是指天调能够承受通过的最大安全功率以及天调调谐需要维持的最小功率。一般要求天调的最大承受功率不小于发射机最大输出功率，否则实际发射功率超过了天调承

UHF天调

受水平，容易损坏天调的调谐部件。一般的天调对应常用电台设计，短波承受功率在100~250W水平，对于使用250W以上短波功率放大器的朋友需要选择高功率型天调。使用QRP电台的用户对于自动天调的最小输入功率要求应当引起重视，因为自动天调的控制机构是通过内部驻波比检测单元来判断是否完成调谐，过小的输入功率会使得驻波比检测单元无法工作，继而天调也无法判断调谐状态。自动天调的最小输入功率要求与天调的驻波比检测电路设计有关，常见的短波段自动天调最小功率输入要求在5~15W，一些专为QRP设计的小型天调最小功率输入要求会比较低。手动天调除了部分内置需要校准满幅度的驻波比表对最低输入功率有要求外，对于手动调谐机构没有最低输入功率的要求，主要还是驻波表有效显示的问题。

MFJ-945E手动天调

MFJ-993B自动天调

Icom AT-130长线型室外天调

工作类型 是指天调的工作方式和特性，也就是前面提到的手动天调和自动天调，自动天调是否需要专用数据线，以及是否为长线型天调。

调谐范围 是指天调能够匹配调谐的阻抗范围，如果用户使用的天线阻抗超过了这个范围，那么天调就无能为力了。通常产品技术指标用两种形式给出，一种是通过调谐阻抗范围给出，一种是通过可以改善的最大驻波比水平给出。比如一部天调给出的调谐阻抗范围为16.5~150Ω，那么这部天调可以改善的最大驻波比水平在SWR<3左右。另外，对于长线天调来说，还可以通过给出最低外接导线长度来显示自身调节的范围和能力。天调的调节范围并不是越宽越好，因为驻波很大的天线硬性调谐下来，此时发射效率是很低的，已经基本没有实用意义了。

调谐速度 一般是指自动天调完成一次调谐所耗费的典型时间。对于在一次通信中不需要频繁改变频率的业余电台用户来说，这个指标并不十分重要。

插入损耗 是指天调内部线路对于功率的损耗以及传输线中由于串入了天调而引起的驻波劣化，这也是体现天调制造水平的重要指标。

天调选购策略

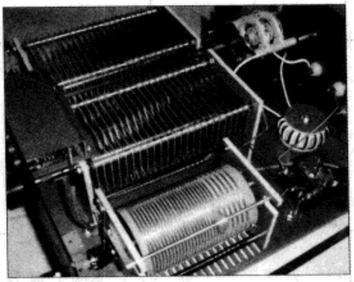
选购天调按配用天线的形式和特性来选择天调的类型。

要是你只准备拉一条电线作为短波全波段都能用的天线，或者打算在汽车上安装一根2~3m的钢丝型短波天线，那么就需要选择“长线型天调”，常见的有ICOM的AT-120/130、AH-3、AH4、SGC的SG230、SG-237以及国产的CG3000。由于普通长线天线和钢丝车载天线阻抗都比较高，普通室内常规天调通常无法有效调谐，而且长线天调在设计时专为拉长线设计的，要求作为天线振子的导线直接与室外天调的输出端连接，不需要也不合适在室外长线天调的输出端再与馈线连接。

要是你已经架设了水平天线、正V天线、倒V天线、八木天线、框型天线、宽带天线等正规形式的天线，并且已经经过调整，那么一台室内型的常规天调是不错的选择，这时长线天调就不合适了。当然要是你的电台支持机内天调选件的话，如果价格不太贵，也是不错的选择。如果你使用200W以上功率放大器，那么就需要考虑使用大功率型天调，大功率天调中手动型天调有更多的选择。如果你是玩QRP小功率的，那么要选择支持小功率调谐的自动天调产品或者一些手动小天调。

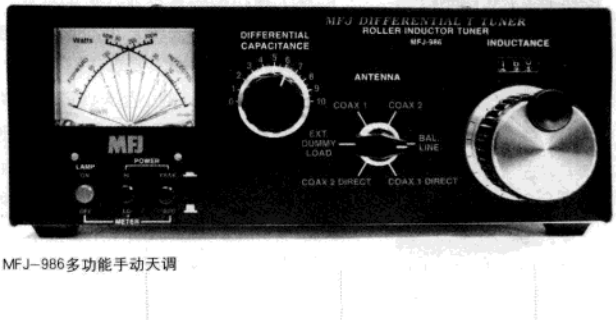
说到手动天调，有面板提供驻波比表功能甚至内置假负载和天线选择器的全功能型手动天调，也有只提供单独天线调谐功能的基础型产品。

操作手动天调，最基本的就是参照驻波比或者功率表的指示，手动调谐天调内部的可调电感、电容组合，使驻波比最小，驻波比表是不可或缺的信息反馈工具。如果你的电台内置有驻波比表功能，那么天调上的驻波比表功能就不是必须的，不含驻波比表的手动天调价格要便宜不少。如果你的电台没有驻波比显示功能，那你就需要选择一款具备驻波比显示的手动天调产品。对于喜欢在电台桌上放置漂亮设备的朋友，具备显示功能的天调无疑更加显眼。天调的显示部件目前主要有指针表头显示，也有液晶面板显示。双指针的驻波比功率表头可以一表同时显示正向功率、反向功率、驻波比3个参数，给手动天调的调节带来很大的方便，甚至比一些电台机内显示驻波比的功能更实用，平时作为线路监视，既漂亮又直观，是高档天调显示单元的首选。用液晶面板显示的机型大多为自动天调，液晶屏显示的内容和形式可以多种多样，由内部单片机编程控制。



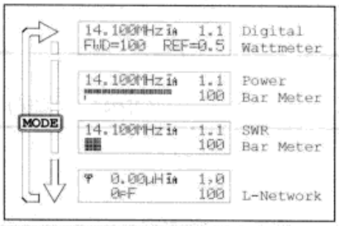
高功率型天调

自动天调与手动天调各有优势。自动天调安装到位后操作简便，手动天调虽然需要完全人工操作，但用户如果是习惯并掌握了一些操作窍门，



MFJ–986多功能手动天调

MFJ–902基础型手动天调



MFJ-993B天调多模式液晶显示

使用起来就不那么麻烦了。如用户可以将常用波段的调谐数据（对应刻度）都记录下来，这样在下次手工调谐时，以这些数据作为基础，并加以微调，可以大大缩短手动操作时间。同时，操作手动天调可以调出最佳的驻波比，而自动天调往往调谐到SWR<1.5就算大功告成了，并不一定进一步进行精密调谐。

对于为求操作方便打算选择自动天调的朋友，一般建议尽量购买电台厂商推荐搭配的天调型号或者有数据线能与电台达成联动控制的天调产品。原厂推荐的型号一定有最佳的兼容性，操作和安装也是最方便的。有数据线的天调数据接口标准不尽相同，这也限制了与电台的搭配。有些天调的数据线需要通过转换盒才能与非原设计电台搭配。有些第三方自动天调无需数据线，虽然搭配电台机型很广，但操作起来自动化程度就不怎么高了，只能称为“半自动”。用户在调谐时要手动将发射机功率降低，然后切换到CW/FM稳定功率输出模式（对于没有专用调机信号的机器），再按PTT，让天调开始自动调谐，自动调谐结束后再将发射机功率设定到正常工作水平，同时操作模式切换为SSB模式。这样的半自动操作在每次切换波段后都要重复操作。后期改进产品中增加了调谐数据记忆功能，在完成初次调谐后相关数据就被记录下来，下次当天调侦测到相近工作频率时就不用再次测试调谐，而直接按照以前记忆下来的数据设置天调参数，实现快速调谐。相比之下有数据线的天调更为方便，可以方便实现“一键完成调谐”。有的产品同样具备跟踪记忆功能，当电台改变工作波段时，由于有数据线传送波段转换数据信息，所以甚至不用人工按PTT发射，天调几乎在电台频段转换的同时，凭借以前调谐数据的记忆自动完成天线调谐，整个过程无需人为干预。

常见的机内天调和大部分室内天调调谐范围都不是很宽，通常只能改善SWR<3时的驻波比（调谐阻抗为16.5~150Ω的天线），目前主流的FT-450AT、TS-480SAT内置天调、YAESU FC-30（配套FT-897/857）、ICOM AT-180（配套IC-7000 IC-718等ICOM电台）、KENWOOD AT-50（配套TS-50）基本都属于这个水平。如果你的天线自身属于宽带天线，如DIAMOND BB6W、商用三线宽带天线，那使用这类天调自然没有问题，可以进一步改善驻波比。如果你的天线属于谐振型天线，如水平天线、正V天线、倒V天线、八木天线，那么使用这类天调最大的作用是拓宽天线的带宽和补偿环境湿度对天线特性引起的变化。要是想随便拉条电线或者使用尺寸未修剪好的天线，然后期望全靠机内天调在所有波段都很好地匹配，这是不太可能的。

关于天调的品牌，除了各大电台生产厂家都有各自的同品牌产品外，还有一些第三方公司，也为业余电台设计制作各种天调，其中比较著名的有MFJ、LDG、PALSTAR、E. F. Johnson。MFJ有不少在业余界口碑很好的手动天调，包括一些大功率天调，MFJ近年也推出了一些自动天调产品，完整了产品线。LDG的天调基本以自动天调为主，并为业余电台热门机型，如FT-817、FT-897、IC-7000等推出了专门的配套天调，解决这些热门小机型用户选配自动天调的困难。同时LDG产品也提供了较大的调谐范围，如LDG为FT-897配套设计的AT-897自动天调，官方数据其调谐范围为6~800Ω（约可改善10:1 SWR）。PALSTAR在高功率放大器和高功率手动天调方面很有名，产品线中有5000W档次的天调产品。E. F. Johnson的千瓦级大功率天调非常有名，属于专业级的产品，用料以及工艺也非常棒，是难得的精品。

LDG为FT-817设计的Z817天调

LDG为FT-897设计的AT-897天调

QRP实战系列

自制等幅发射机

◎时刻（BA6BF）

动手做个小功率的CW振荡器是很有趣的。图1这个小电路可以产生大约50mW的高频功率，如果可以接上一个高效率的天线，那么它发出的信号在适当的时间，也许可以传递到数百甚至数千千米以外。这很神奇，但这就是高频无线电通信。

业余爱好者利用手中多余的零件可以很容易地组装一个小功率CW发射机。我们需要准备的是一只高频晶体三极管，一些电容和电阻，利用废旧的变压器可以拆出很多漆包线，用来绕制必要的线圈。当然，我们的实验必须在业余波段内进行。决定这个发射机工作频率的是一块3.579MHz的石英晶体，它可以让我们的发射机工作在80m业余波段，并且它很容易在无线电商店里找到。当然，如果你想尝试20m业余波段，废弃的电脑主板上也许可以找到14.318MHz的晶体。

当我们改变电路中的某些参数，就可以让它工作在别的波段，见表1。

电路可以在万用板上组装，因为元件很少，所以并没有特别需要注意的地方。调试的过程很简单，只需要调节C3，使振荡稳定且输出最大即可。

让微功率发射机替我们传递信息

事实上，图1电路几乎不需要调试，而且它工作得相当出色。但是如果需要它传递有用的信息，那就必须要让它按照我们的需要来工作。给它加一个开关吧！我们把一个开关串联在它的电源回路里，就可以用电键来控制发射机工作或不工作，这就成为一台等幅电报发射机，见图2。当电键按下，发射机就输出等幅信号；电键松开，发射机就停止工作。按下电键的时间和长短按照事先编制好的方式来工作，就可以传递我们想要发送的信息，这就是通常我们说的莫尔斯电报码。

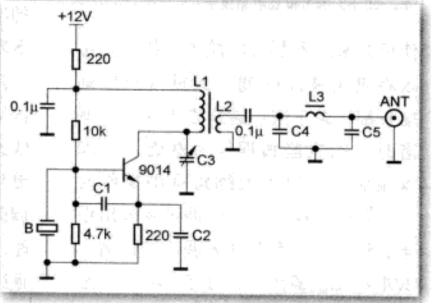


图1 微功率等幅发射机

图2所示的键控发射机有一个缺点，在电键按下去的瞬间，接收到的电码声音会有点小小的变调。这是由于振荡器起振的过程中产生的不稳定造成的，当然它并不影响正常的通信。如果不觉得这有什么不好，那么就这么用也没有什么大不了的。

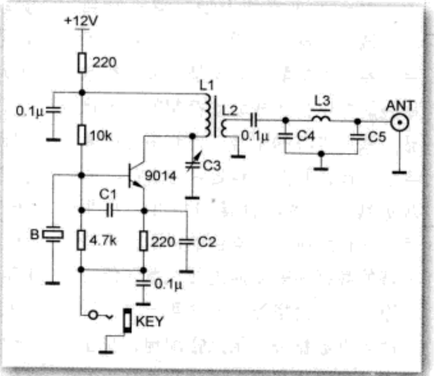


图2 简易的等幅键控发射机

事实上，总有一群人被称作“完美主义者”，他们向往着完美的CW音调。同时他们可能觉得mW级别的发射机多少有点太小家子气，于是把上面的键控电报发射机稍微增加一些零件，就形成了几乎可以实用的电路，见图3。

图3电路在微功率等幅振荡器的基础上增加了一个键控管（8550），并且为了把输出功率提高到1W左右，又增加了一个功率放大器。8550是一个PNP型晶体三极管，当它的基极通过1kΩ电阻接地的时候，它将导通，并给功率放大三极管（2N3866）供电，于是电路输出射频功率。当电键抬起

表1

	C1	C2	C3	C4	C5	L1（匝）	L2（匝）	L3（匝）
160m	360p	1800p	400p	1800p	1800p	73	8	30
80m	200p	100p	400p	750p	750p	43	5	21
40m	-	100p	180p	470p	470p	35	4	14
20m	-	33p	60p	210p	210p	27	3	12
15/10m	-	33p	60p	100p	120p	17	3	9

注：L1、L2、L3使用T-50-2磁环，其中L1和L2在同一个磁环上绕制。

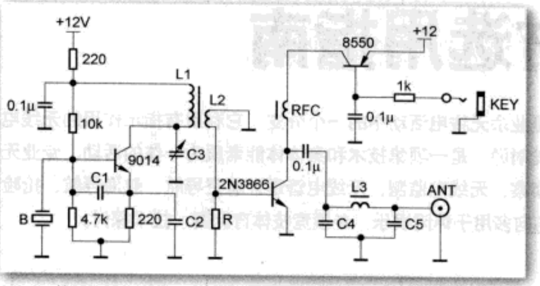


图3 1W等幅键控发射机

	160m	40m	20m	15/10m
R	18Ω	39Ω	47Ω	47Ω

的时候，8550截止，2N3866失去电力供应，电路没有功率输出。由于振荡器的电力一直是接通的，所以它将得以稳定的工作。

2N3866组成一个输出约为1W的丙类功率放大器，它具有很高的电效率，而且电路简单，不需要调试。但是丙类放大器属于非线性放大器，它只能用于对线性要求不高的末级调幅、等幅电报和调频通信模式。而单边带通信模式则必须使用线性放大器，以后我们会重点讨论线性放大器的实验。

给等幅发射机加上语音调制

等幅键控发射机是用编码的方式来传递信息，它的使用者需要经过特别的训练。所以对于一般的火腿来说，语音通信还是具有很大的诱惑。幸好对于简单的语音通信，在前面介绍的等幅发射机的基础上，调幅通信模式还是很容易实现的。所以，我们下面将给等幅发射机加上调幅（AM）电路，实现简单的语音发射。

让一个高频信号的幅值随着音频信号的变化而变化，这就是调幅。也可以换个说法：高频信号幅值变化的包络就是所要传递的音频信号。调幅的原理从理论上说也许很繁琐，但是从电路实现上，却很容易。我们需要做的仅仅是把在图3电路中的键控管8550换成一个音频变压器，见图4。

音频变压器的次级绕组串联在功率管的供电回路中，如果变压器的初级绕组接通音频电流，那么耦合到次级绕组上的音频电流就会和电源提供的电流一起叠加，并提供给功率管作为电源。由于功率管得到的供电是音频电流及电源的叠加，所以功率管的输出功率的波形包络就和输入的音频信号波形相同或相似。于是，受音频控制输出功率的等幅发射机就变成了一台调幅模式的语音发射机。

图4电路很有趣，因为它发射出的信号可以用普通短波收音机接收到。虽然不像FM模式那么高保真，但事实上AM的调制非常悦耳。那种模拟幅度调制特有的醇厚、温暖的音色使得至今还有一些火腿迷恋在高波段操作AM电台。

值得一提的是，AM模式同FM模式一样，在短波段的低段频率上一般除了广播电台还在使用以外，其他业务电台包括业余电台都不再使用。原因是AM调制模式的占用带宽要宽于单边带和等幅电报模式，而短波段的电台密集程度已经很大。为了在有限的频率空间容纳尽可能多的电台，所以短波语音通信主要以单边带为主。

简单的接收机

制作一个简单的接收机，在业余DIY爱好者中是颇受欢迎的。当然，要制作一台全波段的高性能接收机绝非易事，它要考虑的事情太多了，比如本机振荡器的频率稳定性及抗干扰性能等都不是业余条件下可以很容易解决的。虽然自制这种高档接收机是如此困难，但是在业余条件下制作一台性能不是那么理想的简易接收机却很容易可以办到。

如果可以找到一块NE602平衡调制解调集成电路，那就很方便地组装一台可以玩玩的业余接收机。图5是一个简单的40m波段的直接解调式收信机，可以看出，做一个并不太理想的接收机其实是一件很容易的事情。

简易性能的电路带来了让初学者为之欣喜的好处，这个电路的调试简单到只需要把谐振元件T的磁芯调整到灵敏度最高处。制作者需要做的仅仅是按照电路图把所有的零件正确地焊接起来，而机器的性能全部由集成电路生产商来保证。这很有趣，一个可以进行业余通信接收的收信机，它的

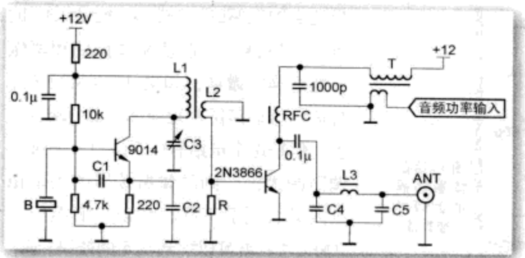


图4 简单的调幅发射机

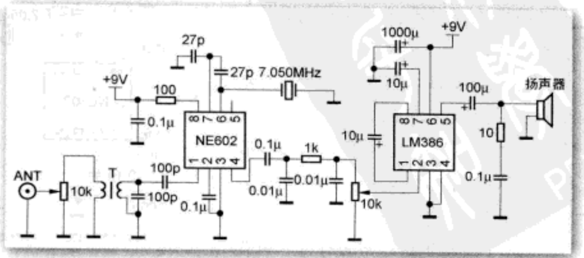


图5 简单的直接解调式（DC）收信机

业余无线电测向器材选用指南

◎聆听

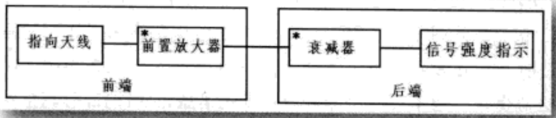
业余无线电测向活动是业余无线电活动中的一个分支，它利用有指示作用的无线电器材来追踪和寻找无线电发射源，是一项集技术和身体体能素质为一体的活动。专业无线电测向广泛应用于军事侦察、无线电监测、无线电管理、航空导航、航海导航、抢险搜救等场合，业余无线电测向多用于休闲娱乐、专项竞技体育比赛、技术探讨。

业余无线电测向活动主要有体育比赛和爱好者休闲活动两类。国内和国际上都有专项的无线电测向比赛，并有成熟规范的规则，包括场地要求、频段选择、器材要求等。作为业余无线电爱好者的休闲活动则更多采用因地制宜、灵活多变的规则，对体能的要求不高，更偏重测向技术，器材和手段方面可以八仙过海，各显神通，正所谓“不管白猫黑猫，能捉老鼠的就是好猫”。为了适应信号源制作的方便性和无线电测向的实用性，业余无线电爱好者在自发的测向活动中大多选择VHF和UHF业余波段。本文主要介绍便携式V/UHF业余测向的器材选用和搭配，业余无线电爱好者能尽量利用自己手中现有的设备，搭配廉价的附加设备，构成有实用意义的便携式测向系统。

便携式设备测向方法

限于体积和重量，目前主流便携测向机系统的主要测向方法有幅度比较式和到达时间差（TDOA）两种，而常听说的沃特森-瓦特体制、多普勒体制、干涉仪测制、乌兰韦伯尔体制、空间谱估计体制主要用于固定测向站。

幅度比较式测向方法的工作原理是依据电波在行进中，利用测向天线的方向特性，对比不同方向的来波接收信号幅度来判定来波方向。在便携设备中，操作者手持有指向性的天线，分别指向不同的方向，通过比较接收机测量出来的接收信号强度来判断来波的方向。其优点是操作简单、直观，可以无需专用设备，缺点是对接收机指示动态范围有较高的要求。



比幅式便携测向系统的基本构成

TDOA到达时间差测向方法的测向原理是依据电波在行进中，通过测量电波到达测向天线阵各个测向天线单元时间上的差别来判定电波到来的方向。在便携设备中，操作者人工转动TDOA天线，通过接收机提供的指示来判断来波的方向。其优点是对接收机动态要求低，基础型的TDOA天线结构简单易于自制，缺点是测向容易受到反射电波的干扰。

实际应用中TDOA体制因为容易受到各种反射电波干扰，所以比较适合地势平坦、反射少的体育竞赛或者在开阔地制高点（反射信号小）的场合，如果在高楼林立的街道或者居民

制作难度居然比单管来复再生式收音机还小，这不得不让人感激电子工业发展的成就。

接收机装好以后，如果有兴趣继续研究，那么还可以增加一个图6所示频率调节电路，这样就可以让接收机的频率进行一点变化。在实际接收中，这可能会很有用。

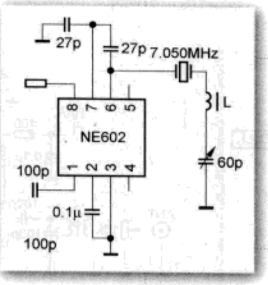
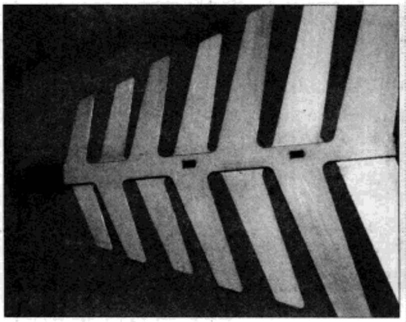


图6 给晶体振荡器加上频率可变功能

图6中这种电路通常被称作“可变晶体振荡器”或“VXO”。它通过选择适当的电感L的电感量，配合60pF的可变电容器，可以使晶体振荡频率做一些适当的微调。如果L的电感量选择合适，可调范围甚至可以达到30kHz以上。但是这个电路有一个缺点，如果可调范围太大，则晶体振荡器的频率稳定度就会明显下降，所以一般控制在10kHz左右就可以达到实用的效果。



前端设备：指向性天线

后端设备：场强测量接收机

实用便携型测向配置

定向天线 + 便携测向机
定向天线 + 放大器/衰减器 + 通信信号场强仪
定向天线 + 衰减器 + 频谱仪
定向天线 + 放大器/衰减器 + 电视信号场强仪
定向天线+可调衰减器+接收机 (有信号强度显示的对讲机)
TDOA天线 + 接收机

区中使用，效果不尽如人意。相对而言，幅度比较式测向方法虽然古老，但依然简单实用，尤其在一些复杂情况下，依靠测向人员的经验和灵活应用，还是非常实用的，也被称为“场强逼近法”，是目前商用便携测向机应用的主要方法。

比幅式便携测向系统的基本构成

最基本的比幅式便携测向系统是由前端指向性天线系统和后端信号场强指示设备构成。国内有些公司的成品专业测向器材就是用普通具备信号强度显示的进口宽带接收机加上前置可调衰减器构成测向主机，再配上一套指向性天线。

前端的指向性天线系统可以是任何具有方向特性的天线，如常见的八木天线、框形天线、环形天线等，要求天线方向性越尖锐越好，同时天线的尺寸和重量要适合便携使用。测向天线不要求具备高增益，其方向性比增益更重要。专业的UHF以上波段测向天线多采用对数周期天线形式，主要是为了确保天线有足够的带宽，同时具有较好的方向性。业余无线电爱好者由于不需要工作在很宽的频率范围内，所以不需要使用对数周期天线，常使用的是3~5单元的八木单频段天线作为测向天线。为了方便携带和移动使用，将八木天线的振子改用可以伸缩折叠的拉杆天线，或者容易弯折的钢皮尺（用多层钢皮尺复合可提高刚性）。由于测向中。天线不需要发射信号，所以天线的频率特性不是很严格，不要求必须具备良好的驻波比，有时甚至为增加便携性，可以牺牲天线的一些特性，缩小天线体积。为了方便天线的把持特性，很多便携测向天线都设计了枪型握柄或者直线握柄。有的成品天线内部还集成了可手动开启的有源信号放大器，以提高系统在弱信号区的应用。

后端的信号场强指示设备是个宽泛的概念，可以是场强仪、频谱仪，也可以是专业接收机、具备信号强度指示的对讲机。其原则就是需要能够反映出前端天线接收到信号的强弱变化情况。实际应用中，为了提高系统的接收灵敏度（适合远离目标的远场测向），可以在天线后端增加低噪声放大器，为了提高系统的指示范围（适合靠近目标的近场测向），可以在天线后端增加衰减器。由于远场测向和近场测向时信号幅度变化巨大，所以要求后端设备具备很大的信号指示范围，既能指示小信号，也能指示大信号。这一点正是场强仪、频谱仪、专门设计的测量接收机的强项，而对讲机的信号强度指示的范围比较狭窄，很容易出现满表显示（最大显示）的状态，无法有效显示天线上的信号强度变化状况。场强仪、频谱仪、测量接收机在这方面性能好，但属于专业仪器，价格高昂，拥有量很少。

对于业余无线电爱好者来说，手中拥有量最大的是各种对讲机，选择适当的对讲机，并配合合适的衰减器，辅之以操作技能，普通对讲机也能成为不错的信号强度指示装置。

C450 信号表

固定衰减器

可调衰减器

实战测向设备

1. 什么样的对讲机适用于测向?

幅度比较式测向系统要求对讲机具有较宽的信号强度指示范围，而且指示条显示比较细致（显示格子较多），最好自带衰减ATT功能（有利于增加信号强度指示范围）。经过实际筛选，不是越贵的对讲机信号指示表性能越好，有的价值3000元以上的高端对讲机信号强度表指示范围非常小，很容易显示满表，可能在通联时容易给人信号接收性能很好的感觉，但并不适合作为测向信号强度指示之用。有的国产对讲机信号强度表形同虚设，根本没有强弱指示作用，只要有信号就显示满表。有些老款的带指针表头指示的车载对讲机，信号指示功能非常好，变化灵敏，如果为其配上电池，作为挎包型便携信号指示器将会很好用。有动手能力的朋友通过改造KENWOOD TK-708(VHF)、TK-808(UHF)车载台，将其TP测试点上的信号引出，驱动指针表头指示接收信号强度。实际使用中，使用传统指针表指示信号强度的效果要优于普通对讲机的液晶信号条显示。

主流的手持对讲机中，KENWOOD TH-G71A、YAESU VX-8R、VX-7R、VX-6R、VX-2R比较适合作为测向信号强度指示之用，8R/7R/6R/2R都具有机内ATT功能，并可以在维修模式中调整信号表显示范围，以更适合测向信号指示的要求。此外旧款的马兰士Standard C150/C450信号强度表性能非常卓越，具备11级液晶显示，而且现在二手机价格不到百元，可谓价廉物美。

对讲机对强信号的指示能力远不及测量接收机场强仪和频谱仪，除了增加衰减器外，我们实战中可以用略微调偏中心频率的“土方法”，让对讲机指示一些高场强区域的变化。对于有动手能力的朋友，还可以增加辅助电路来增加高场强信号的显示。

2. 衰减器应用

在近场大信号的测向时，往往会遇到实际场强信号已近超过后端接收单元显示动态范围，造成后端接收机不能有效显示天线信号强弱变化的情况。遇到这种情况，我们就需要使用信号削弱装置来等比减小天线接收到的信号强度，使其进入后端接收单元的有效显示范围，这样的器件称为衰减器。

市场上进口的衰减器价格很高，不少都超过我们一部对讲机的价格。无源衰减器实质上就是利用电阻担任“分压”任务，来等比减小输出端的信号。制作衰减器最难的地方是保持很大频率范围内衰减量的相对恒定，所以频率越高，精度越高，功率越大的衰减器，价格越昂贵。用在业余测向应用上的衰减器对衰减精度没有太高要求，甚至对精确衰减量都没有很

手持型有线电视场强仪

便携型有线电视场强仪

信号放大器

高的要求，原则上只要求将信号衰减到接收单元可以有效显示信号强度变化就可以，不需要测量场强数值。所以我们可以用电子零件商店很容易买到的普通金属膜电阻和波段开关来DIY可调衰减器，功率容量可以忽略。我们甚至可以用一个普通的炭膜旋转电位器来替代。

衰减器只能在一定范围内衰减信号，并不是万能的。当你的接收单元不使用天线都显示满表的话，再大衰减量的衰减器都没有用，这与接收单元自身的屏蔽特性有关。

3. 有线电视信号场强仪客串接收机

市场上有些价格在500~1000元有线电视用的场强仪能否用于业余无线电测向活动呢？原则上可以用，适用于近场强信号测向。

有线电视信号场强仪相对普通对讲机的优点：第一，覆盖范围广，大多在46~870MHz，完全包括业余电台的144/430MHz全波段。第二，具备较大的场强显示范围，常见产品的显示范围多在30~120dBμV，可以显示相当强的场强水平，远大于普通对讲机信号强度表显示范围，而且很多还是数字化显示变化更灵敏。第三，不到千元的价格，个人用户容易接受。它的缺点也是显而易见的：第一，由于是为测量有线电视系统设计的，所以接口阻抗为75Ω，不是通信设备常用的50Ω。第二由于有线电视系统的信号格式是宽带的，所以有线电视场强仪并不提供通信中常用的窄带调频接收模式，带宽不一样。第三，由于电视场强仪采用宽带调频接收模式，所以频率分辨率（步进）比通信信号要求低得多，分辨率大多只有10~100kHz。

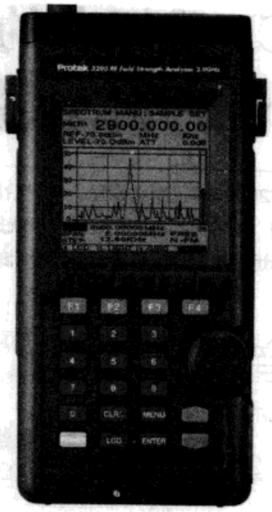
有线电视信号场强仪相对通信信号场强仪的优点是，价格便宜，不到通信专用的场强仪价格的1/20，缺点是，电视场强仪不具备通信窄带FM接收模式（为电视伴音和调频广播的宽带FM接收模式），接收灵敏度低，频率分辨率低。

好在用于业余无线电测向只要求显示出信号强度的变化，并不需要精确地测量，所以由于阻抗和接收带宽不匹配造成的测量误差并不重要。由于是宽带接收，所以一定程度上弥补了场强仪自身分辨率低的问题。实际使用中碰到最大的问题就是电视信号场强仪接收灵敏度低，在远场弱信号测向时，很容易收不到信号。这个问题可以通过两个办法来解决：第一，可以通过加装20~30dB的信号放大器，放大器可以DIY，也可以用现成的家用有线电视放大器改制。第二，可与对讲机配合使用，各展所长，在远场小信号测向时利用对讲机灵敏度高的优势进行测向，当渐渐逼近信号源，场强逐渐增强，对讲机已经无法有效显示信号强度变化时，换用有线电视信号场强仪上阵，充分利用电视信号场强仪的强信号大动态显示的特点继续测向。

重量轻、具备背光照明功能（适合夜间测向）、灵敏度高的有线电视信号场强仪是我们考虑的重点，至于是指针显示还是数字显示并不重要。

友情提示：有些电视场强仪具有空闲自动关机功能，如果该功能不能通过设置取消，则对需要长时间开机的测向应用不利。

上述介绍的器材与目前主流的价值几十万元的进口专业器材相比，可谓洋枪比土炮。土炮虽然没有洋枪光鲜，但若使用得当依然可以发挥很大的作用，在特定场合不比洋枪差。专业器材在设计上采用高带宽设计，主要考虑无线电监测的连续性、通用性。在很多性能上，要与窄带器材媲美，则心有余而力不足。比如一套价值40万元的老款专业测向接收机和测



便携型通信信号场强仪

专业测向机

向天线，在业余频率的接收灵敏度、天线增益、指向性方面尚不及价值400多元的国产对讲机+八木天线，在远场弱信号测向时，会遇到收不到信号的尴尬。业余无线电的测向活动仅限在业余波段内，所以对高带宽的应用没有要求。便携式设备的测向原理和体制与专业设备也基本相同，所以只要器材搭配得当，还是有很高的实用性。同时移动测向的经验很重要，这要靠实际测向实战中的经验积累，熟悉自己使用测向设备的特性并灵活运用，才能事半功倍。

CW爱好者的福音
——几款音频滤波器的实作（2）

◎阮东升（BA6QH）

在2009年第7期文章里，笔者给朋友们介绍的两款音频滤波器虽然比较简单，效果也还不错，但它们都有一个缺点，那就是中心频率是固定的，而且滤波器的带宽也不可调整，在实际运用中会稍感不便。下面介绍的两款滤波器各有特色，可弥补上述的不足。

首先，我们来看看由法国火腿F6BQU设计的一款滤波器，原理电路请见图1。

从图中可以看到，该电路主要是由2片集成电路MAX293与LM380组成，其中MAX293是美国MAXIM公司推出的8阶低通椭圆型开关电容滤波器，采用输入时钟频率控制输出转角频率的方式来实现对模拟信号和数字信号的滤波，由MAX293组成的低通滤波器的截止频率可调范围为0.1Hz~25kHz，其标称的带外衰减量较大，约为-80dB，作为低通滤波器来说是非常不错的。输入端由R1、R2与可变电阻RP1组成一个衰减网络。由于外接的一般都是收发信机的音频输出端，过高的输入信号电平会使MAX293产生失真，通过调节RP1使MAX293的输入端达到一个合适的输入电平。该滤波器通过调整Rpot1电位器来控制变容二极管BB112的容量，从而达到改变音频信号带宽的目的。低放LM380可以输出2W的音频功率，该集成电路也可以用常见的LM386来替代。Rpot2为音量调节电位器，输出端的J4接扬声器，J3接耳机，R10是为防止耳机过载而设置的，需选用标称功率为2W的电阻。该滤波器由于带宽连续可调，可以消除邻近强烈的QRM信号，无论是接收SSB还是CW的信号，操作者都可以通过调节带宽来达到适合自己收听舒适的位置。该滤波器的带宽从600~4000Hz连续可调。由于电路比较简单，在制作上依然使用的是洞洞板来搭接，此处不再详述，实物见图2。

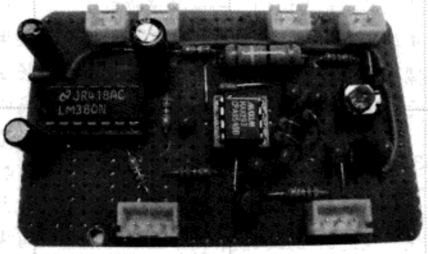


图2 F6BQV设计的滤波器实物电路

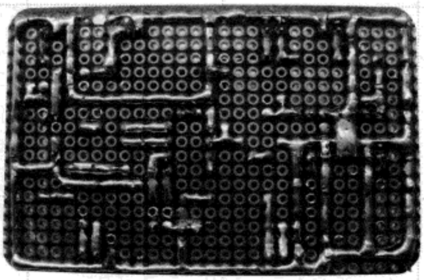


图3 图2电路的接地面

需要注意的是，低放的LM380增益较高，要注意大面积接地，否则容易产生自激现象。接地见图3。

该滤波器的频谱曲线见F6CRP提

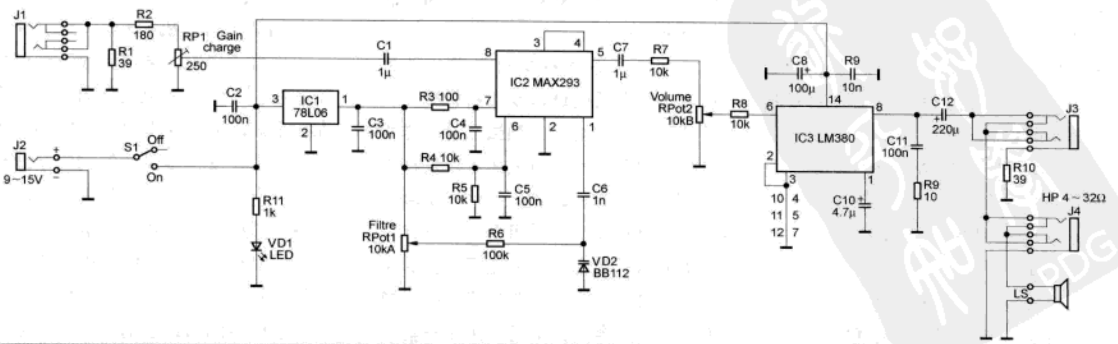


图1 F6BQV设计的滤波器电路

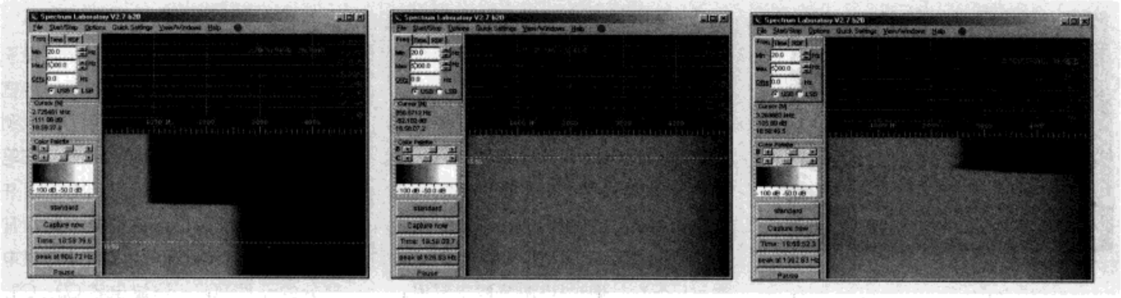


图4 滤波器测试频谱图

供的测试频谱图（图4）。

从图4中可以看到在两翼的带宽曲线非常陡峭。用MAX293的滤波器实际上是一款低通滤波器，在收听SSB语音信号的时候可以根据个人的需要平滑调整到收听较为舒服的带宽，但对CW有较高要求的HAM而言，提供的CW带宽似乎还稍微宽了一点。由于MAX293集成块比较贵且不太好找，所以笔者还是希望使用运放来做比较好，一来元器件比较容易找到，二来价格低廉，容易控制成本。

通过本地火腿朋友 BG6QBT 网上搜索推荐，一款由美国 Elecraft 公司推出的音频滤波器 AF1（图 5）摆在了笔者面前。

说起这个Elecraft公司，大家也许不会陌生，该公司出品的K1/K2/K3系列套件及成品收发信机名震寰宇，在火腿中享有很高的评价，在许多大型的DX远征中都可以见到它们的身影。AF1是一个多功能的音频滤波器，可用于任何收信机或收发信机，它可以改善接收等幅（CW）、语音信号、数

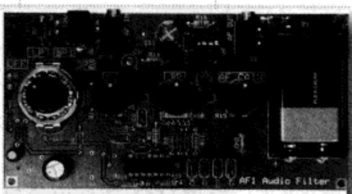


图5

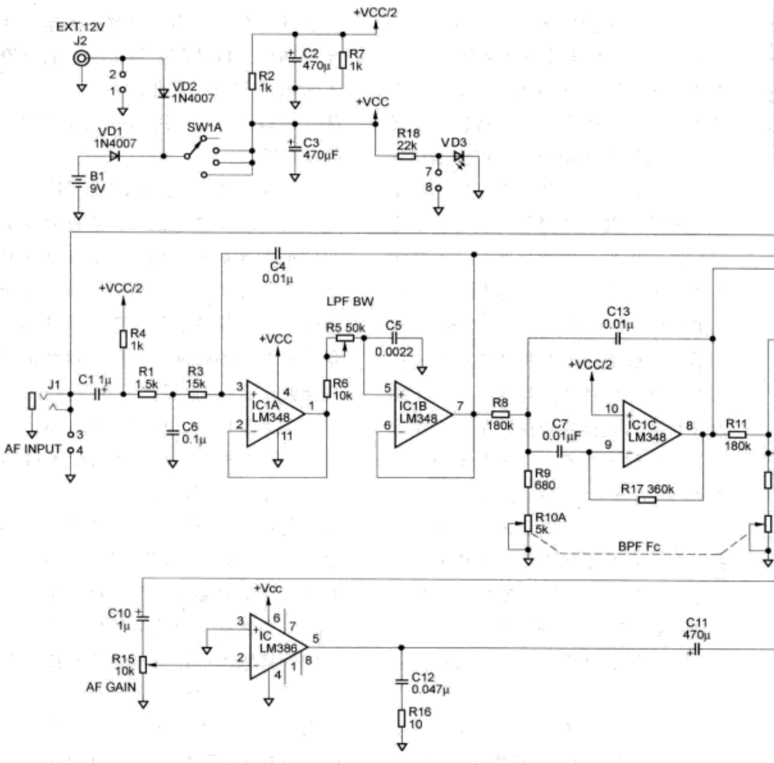
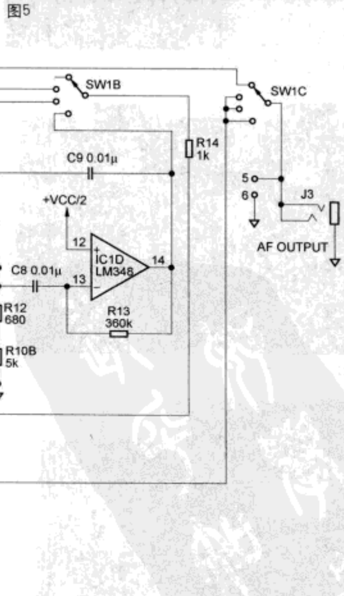



图6 美国Elecraft公司的音频滤波器AF1电路原理图

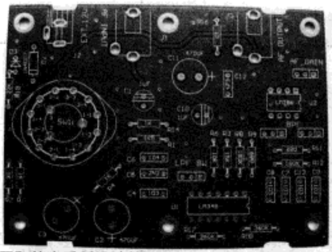


图7 笔者重新设计的PCB

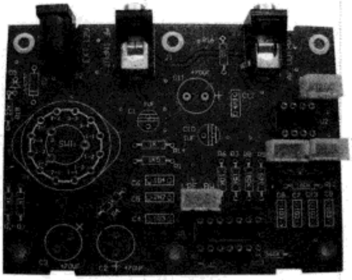


图8 用模块法进行安装

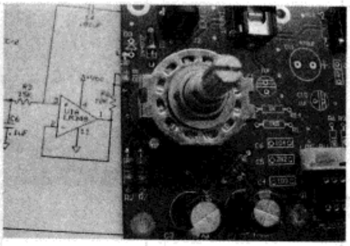


图9 正确安装波段开关

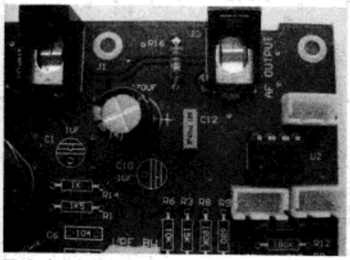


图10 安装低放部分

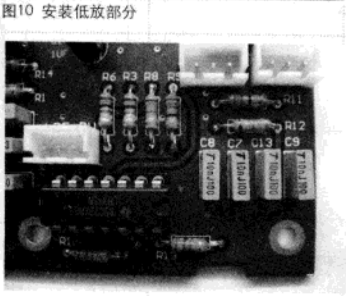


图11 将带通部分元器件焊接到PCB上

据信号的可懂度，特别适合于不具有中频或者音频滤波功能的老式收发信机。其原理图见图6。

从图6中可以看到，AF1使用的是简单模拟电路和分立元件，主体电路由一片集成了4只运放的LM348集成电路构成，其中IC1A、IC1B 组成一个截止频率可以调节的低通滤波器（LPF），通过R5调节截止频率。IC1C、IC1D组成两级中心频率可以调节的带通滤波器，该带通滤波器提供了2个带宽的选择（BP1和BP2），其中心频率可调范围为350~950Hz，通过R10来调节。同时低通滤波器在带通滤波器工作期间，可以进一步控制前一级的频率响应。后级是由一只LM386组成的音频功率放大器，用来放大滤波后的音频信号，放大器的输出可驱动低阻抗耳机或一个小扬声器。如果需要更大的音频输出功率，可以接一只有源音箱。如果波段开关SW置于最左边，LED熄灭，输出和输入音频经内部电路直通，输入信号直接输出至扬声器。电源供应使用外部电源插座供应，一个LED 显示电源开/关状态。虽然从电路上看非常简单，没有什么奇异之处，但也不是完全照搬，而是用国内现有的器件代替了原版中很难找到的器件，并且重新设计了PCB。当然元器件的数值及电路程式依然严格按照原电路，保持了原汁原味。原电路设计有用9V电池供电的功能，在实际使用中发现用处不大，因此重新设计的PCB没有预留电池的空间，见图7。

经实际制作，笔者感觉比第一版更小巧，安装更加方便，使用的元器件也很容易买到。实际制作中，感觉复杂程度比制作“蛙鸣”低。

下面笔者详细介绍该滤波器的制作。

电路虽然简单，但依然按照模块安装法来进行，首先是将集成块插座、电源输入等接插件安装好，见图8。接着安装波段开关SW。

该滤波器设计的巧妙之处就在于利用这个波段开关来切换不同的带宽选择。安装完毕，对照图纸用万用表测量一下各个触点的通断是否正确。在笔者做的第一个版本里就有因为波段开关安装不正确而造成滤波器不能正常工作的情况，测试通过后安装电源供电部分的元件 VD2，滤波电容 C2、C3，分压电阻 R2、R7 以及 R4，见图 9。

安装完成后接上电源，将波段开关拨到LP挡，测量电阻R4任意一端的电压，读数为供电电压的一半即可通过。接着安装低放部分的元件C11、C12、R16，见图10。

这部分元件较少也很简单，插上LM386，接上扬声器，用金属镊子轻触LM386的第二脚，扬声器里会传来“喀喀”的噪声，记住这时的波段开关是打在LP档位，只有这样整机的电源才是接通的。低放部分测试通过后接着安装低通部分的元件R1、R3、R6、R14、C4、C5、C6以及信号耦合电容C1、C10。

安装无误，插上LM348、LPF调节电位器以及音量电位器，连接收发信机的扬声器输出到本机的J1 AF INPUT端口，试着接收一SSB信号，调节LPF电位器会明显感觉到噪声会有减小。最后将剩下的带通部分的元器件全部焊接到PCB上，见图11。

插上BPF双联电位器接线，波段开关打到BP1挡，接收到的SSB信号噪声会进一步减小（此时由于带宽较窄，会感觉到SSB语音信号有所失真）。接收一个CW信号，调节BPF电位器，会找到一个信号最大、听着最舒服的一个点，当然这个点主要是配合收发信机的侧音频率而定。根据不同操作者的收听习惯可以选择不同的侧音中心频点，这也是本滤波器最大的亮点所在，当将波段开关置于BP2的挡位时，此时收听的背景噪声会大幅减小，虽

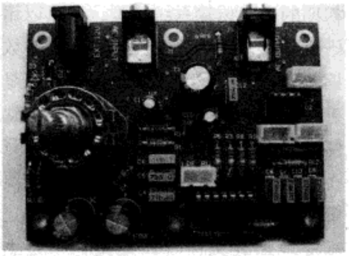


图12 全部焊接完毕

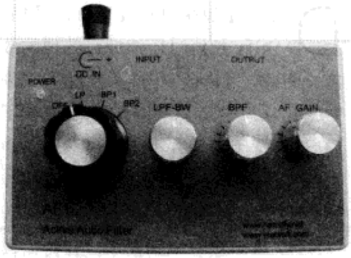


图13 整机外形

然带宽已经很窄，但本机并没有振铃效应。至此整个PCB上的元件全部安装完毕，并通过测试，见图12。下面就可以将其装入机壳，我们给这个机壳设计了一款PVC贴纸。

照着PVC在面板上打好孔，将3个电位器固定安装到面板上，它们的连线通过接插件与主板连接，按照PCB到面板的距离安装电源指示LED，整机外形见图13。

至此，一款完整、漂亮、高性价比的音频滤波器展现在我们的面前，由于笔者没有测试条件，在此就借用一下Elecraft公司提供的测试频谱图，见图14。

浙江火腿BD5ELD将本机用在FT-80C上后评价：效果太好了，每天FT-80c震耳欲聋的噪声小了一大半。

北京火腿 BD1IOY 将其用在蛙鸣、章鱼（本刊去年介绍的两款 QRP 小机器）上以后评价：使用前在某些时段临频干扰十分严重，使用后就是单一信号了，且背景噪声也小了许多，充分体现了 AF-1 的性能，感觉比窄带还好！笔者制作完成后也用其与“蛙鸣”配合，收听效果非常棒，见视频文件（可到本刊网站下载）。

曾经有朋友提到2个问题：一，这太麻烦了，不如就用一块NE567(音频锁相环)做个滤波器，轻而易举可以做到中心频率±10Hz。这个说法没错，但前提条件是收到的信号要有一定的强度，对于弱信号则无能为力。而CW爱好者恰恰就是要努力分辨许多埋没在噪声中的微弱信号，使用本文介绍的滤波器不会出现NE567不能解调而遗漏信号的问题，本滤波器可有效降低噪声，提高可懂性。二，现在都已经有音频DSP了，这些只能说是一些落后的东西，不值一提。不错，随着技术的发展，音频DSP在对音频的处理上的确要强很多，但居高不下的成本限制了它的在业余无线电领域应用，而笔者所制作的这几款音频滤波器元器件容易找到，价格低廉，而实际使用效果也比较明显，值得一做，当然，如果您有雄厚的财力，使用DSP是您不二的选择。

通过以上几款具有代表性的音频滤波器实际制作与使用，笔者对音频无源、有源滤波电路的特性有了一个感性直观的认识，音频滤波器在实际使用中对CW信号作用非常明显，尤其是小信号，因此，这些小玩意对没有窄带滤波器而又想玩CW的朋友来说无疑是一个极大的福音。要知道，那些成品设备(如FT80C、TS440、FT897等)的窄带滤波器不是价格昂贵，就是很难买到。而前面介绍的这些个小玩意在实际运用中的表现让笔者一直在思考一个问题：当初为什么要处理掉不带滤波器成色极新的IC725A、为什么要花大价钱为FT817配上CW窄带滤波器？如果当初制作了这些滤波器的话，我想会是另外一个结果。

希望大家都来动动手，花费不多却可以为你带来意想不到的效果，不仅可以使你的操作桌上多一款漂亮的、称心如意的小玩意，更可以使你的老机器、

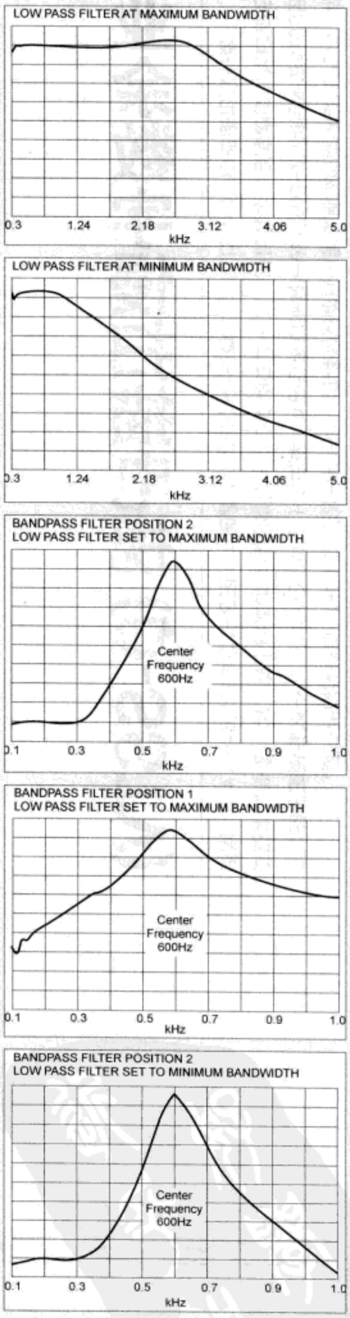


图14 Elecraft公司提供的测试频谱图

老设备焕发青春，为你的 DX 再作新的贡献。

业余数字慢扫描电视（D-SSTV）

◎吴国光（BA7IA）

数字慢扫描电视（D-SSTV），以数字方式来传送一幅图片，图像大小可以达640×480，画面的质量好，色彩艳丽，分辨率高，几乎可以保证传送后收到的图片与原图一模一样。相比传统模拟的SSTV传送的充满了噪点和多少有点扭曲的图片，就好像一个是听CD音乐，一个是播放黑胶唱片一样。D-SSTV通信模式目前尚属于试验探索性质，对于业余无线电爱好者，探索之路无止境。

D-SSTV 是数字慢扫描电视的简称。D-SSTV 把经过压缩编码处理的数字化图像，采用数字调制和传输方式来传送。从严格意义来说，D-SSTV 并不是 SSTV，因为它并不是通过对传输画面扫描来获得传输信号的，而是直接传送数字化以后的静止图像文件。由于 D-SSTV 采用数字编码技术，在传输数字序列中加入了冗余纠错码，令传输信号即使遇到传播衰落、QRM、QRN 或人为干扰等损害，仍然能够正确地恢复所传输的内容，因此，所接收到的图像质量跟发送端是完全一样的。D-SSTV 的传输内容也不单纯地局限于静止图片，理论上它是属于纯数据透明传输。如果传输条件许可，D-SSTV 系统可以传送任何的二进制文件，包括文本、声音、图像、网页和程序等。可以说D-SSTV 模式已经超越了传统的 SSTV 模式，技术得到了更进一步的发展，应用前景也更加广阔、无可估量，期待着我们不断去加以发展和完善。

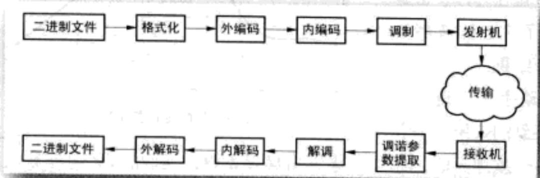
D-SSTV模式的基本技术

D-SSTV是由KB9VAK通过潜心研究、实验而设计出来的基于HF波段业余无线电静止图像传输的系统。目前D-SSTV发展成两种模式，一种称为RDFT（Redundant Digital File Transfer，冗余数字文件传输）模式，这是一种初期的数字传输系统模型，它可以用于HF波段传输包括图像在内的许多数据。RDFT模式不涉及信源编码，而是直接采用计算机系统中已经由其他软件处理好的二进制文件。因此，RDFT在传送或接收一个文件时并不再需要单独地去进行信源编码和解码，而是直接地加载文件（如果文件不是太大），或者使用JP2转换器来把图片文件字节压缩调整为合适的大小。

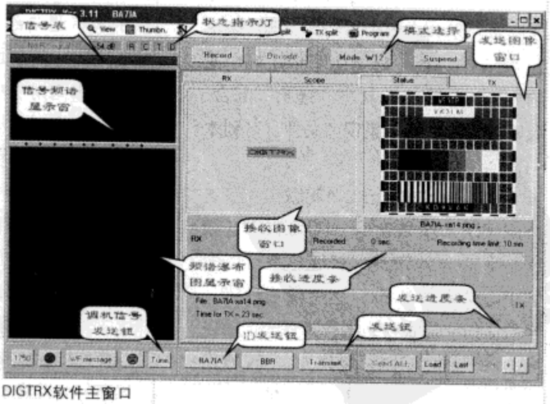
D-SSTV的另一种信号模式叫DRM（Digital Radio Mondiale,数字调幅广播），这是一种比较新的数字传输模式，现在这个技术也被应用于进行中波和短波的数字音频广播，并已经成为数字音频广播的标准之一。这种模式也被称为HamDRM模式，它同样能够在HF波段进行数据通信。但是如果把它用在V/UHF等具有良好通道特性的波段上，更能发挥这种模式高传输容量的特点。

D-SSTV通信软件——DIGTRX

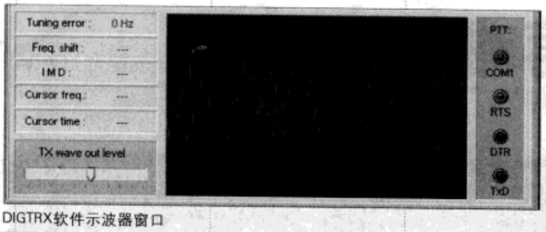
由巴西的HAM PY4ZBZ开发出用于进行D-SSTV模式操作的软件叫DIGTRX，它是一个免费的软件，软件可以在链接“f6baz.free.fr/FTP/Digtrx/DIGTRX311.Zip”中下载，目前只有英文版本，笔者还没有找到汉化的版本。最新版本是DIGTRX v3.11，软件



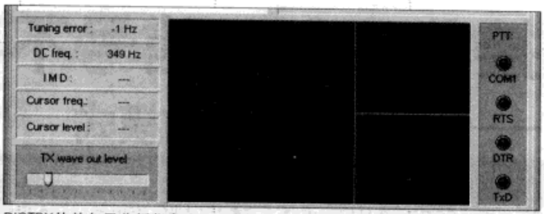
RDFT模式的系统方框图



DIGTRX软件主窗口



DIGTRX软件示波器窗口

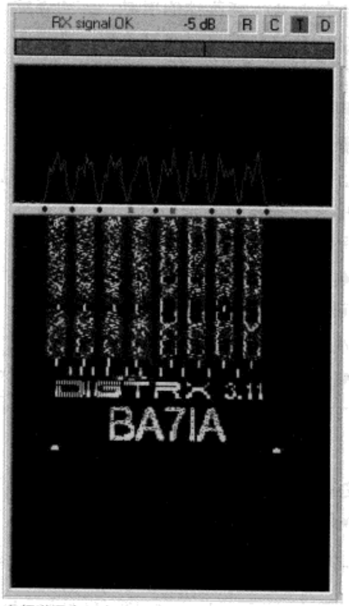


DIGTRX软件矢量分析仪窗口

除了能够操作传统的RDFT数字SSTV模式以外，还包括最新的DRM数字SSTV模式。程序必须运行于Windows XP 或者Windows 2000 (SP4)，建议计算机的CPU处理速度是1GHz以上。因为DIGTRX是属于业余无线电实验用的免费软件，所以在使用功能上是有所限制的，比如：记录wav文件的最大值被限制为13MB或大约10min，而传送文件的大小也被限制为只有64KB。

D-SSTV模式现状与发展

目前D-SSTV模式的活跃频率是7.033 MHz、14.233 MHz ~ 14.240MHz，每逢周末会很热闹。另外，在3.860 MHz、18.162 MHz和21.370 MHz这些频率上，也有很多美国的电台在通信。调整你的收发信机，在这些频率上寻找D-SSTV模式的信号，RDFT模式的信号听起来像是传真机和Modem所发出握手信号的声音，而HamDRM模式的信号听起来有点像撕裂报纸一样的噪声。实践证明，挑选D-SSTV模式信号最好还是利用DIGTRX软件中的频谱和瀑布显示窗口来进行观察判别。



在频谱瀑布图中显示呼号

目前D-SSTV有从RDFT模式逐步向HamDRM模式转变的趋势，这是因为HamDRM模式具有更多的优点，特别是对于V/UHF传输通道，更能体现出其频谱利用率高，传输容量大，传输稳定可靠，抗多径衰落等方面的优越性。HamDRM模式甚至可以用于移动通信，在高速行驶中仍然能够畅通稳定地进行通信。目前采用计算机用软件方式进行HamDRM信号的调制和解调需要大量高速的运算，实时性比较差，也需要占用计算机的大量资源。如果能够把软件信号处理部分分离出来，采用高速FPGA芯片进行硬件编解码信号处理，不仅速度快，而且稳定性高，可靠性好，使用更方便灵活。而软件部分只进行数据存储、控制和实现人机界面处理等工作，则可以充分地发挥软件和硬件处理的各自优势。若再进一步让硬件芯片对中频，甚至高频信号进行编解码处理，将会使信号的特性更好，解码的门限更低，系统将会有更好的性能。通过把硬件芯片进行小型化和多功能化以后，甚至可以做成一个电路单元，嵌入到现有的业余无线电收发系统中，让现有的无线电收发信机都具有数字信号收发处理的能力。通过对HamDRM模式信号处理芯片进行开发，将使数字硬件技术在业余无线电上的应用更上一个台阶。在现今互联网用RM、RMVB、AVI、FLV等视频格式以500kbit/s的码率已经可以流畅地传输和播放压缩的320x240分辨率视频文件，因此，通过对现有D-SSTV系统进行改造，采用先进的数字视频压缩编码技术，可望实现在业余无线电短波的窄带通信条件下传输活动视频信号的梦想。

虽然目前的DIGTRX软件可能是由于专利授权和FCC法规等的限制，在运用上受到很多限制，功能也比较欠缺，只能算作是数字通信技术的一个业余体验版。但是，正是通过这样简陋的软件，使我们得以紧随着现代无线电通信技术发展的时代步伐，实现了业余无线电通信技术从传统模拟技术到现代数字技术的飞跃突破，让我们体验到通信技术从单载波到多载波再到正交频分复用等几个层次进步所带来的神奇效果。

业余无线电爱好者将通过对这些现代数字通信技术进行感受、学习和实践的过程，从低级到高级，从简单到复杂地逐步深入认识，不断进行探究实践。只有通过不懈地努力，开发和创新，才能创造出性能更好、功能更完善和技术更先进的业余无线电通信系统，使业余无线电技术向着更高的层次发展，走在通信技术发展的前沿。

接收极微弱信号不再难
——JT65 数字通信模式

◎吴国光（BA7IA）

编前语：本刊邀请吴国光老师为读者介绍一下目前业余无线电领域里的新技术，吴老师根据丰富的实践经验和查阅的大量国外资料写出了近2万字的文章，全面而系统地将这种目前广泛应用于EME通信的JT65数字通信技术的特点介绍出来，是难得的技术资料。但限于篇幅，我们只摘选了其中的部分内容，希望本文为读者了解JT65数字通信技术打开一个窗口。

在今年前几期的《走近EME通信试验》文章中，笔者为大家介绍了K1JT开发的通信信号处理软件WSJT的神奇效果， WSJT软件正是采用了先进的JT65数字通信模式，使得信号具有非常优良的抗干扰和纠错能力，依靠电脑的高速运算，即使有很多干扰信号或者信号非常微弱，甚至人耳完全听不到，也能正确地解调出信号中所包含的信息，而且从WSJT软件的音频频谱窗口就能够很直观地看到所接收的信号。JT65数字通信模式使得EME通信活动的门槛大大降低，有了先进信号处理技术的帮助，更多的HAM非常容易参与其中，享受到深空通信所带来的乐趣。JT65是一个用于极端微弱信号业余无线电通信的数传协议代号。它被专门设计用来优化进行在50MHz、V/UHF和L波段的地-月-地(EME) 联络，而且有效地遵从QSO确定的标准和程序。

自从无线电被发明之后，最早应用的编码方式是CW（莫尔斯电码），莫尔斯电码是通过开关控制等幅信号的有或无，由人来实现编码和解码，因此，设备简单容易实现，而且所需的传输信号带宽很小，抗干扰能力强，一度被认为是弱信号通信的最佳方式。但是。对于像业余流星散射和EME联络那样的、对每个分贝信噪比都要计较的极其微弱信号的时候，就有需要去探究其他的调制方法了。现代个人电脑已经提供采用声卡对音频信号进行数字处理的能力，因此，结合现代信息论和电脑的软硬件技术，就有可能设计开发出一种通信模式，专门针对像在EME传输通道上所遇到的那些极端微弱信号。

通信系统为了要在噪声干扰很大的无线电通道上能有效而可靠地传送信息，必须要做下面的4项工作：编码，压缩，纠错，调制JT65 数字通信模式亦如此。

JT65信息编码经过几个阶段的处理：用户的信息首先被“信源编码”成一个仅有72位二进制码的紧凑形式。该序列再被装入成为12组6位的信息符号，然后由一个里德所罗门编码器增加了51个奇偶符号。信息进行63个信道符号交织，格雷编码后，对64个音频载波进行频移键控调制并传输。采用第65个载波频率来传送一个同步引导信息， 2个音频载波的间隔低于最低数据音频载波。还有一些任意选择，以进一步确定详细信息包装和分类信道符号等。

EME QSO要求和程序

业余无线电通信是充满乐趣的活动，为了使参加业余无线电活动的所有人都可以理解和发挥，有必要制定一些基本的规则。这些指导方针为所有类型的业余无线电QSO所应用，而且工作得很好，如HF、V/UHF、对流层散射、流星散射、EME或其他传播方式。

当在EME通道之上进行QSO的时候，信号时常非常弱很不容易被抄收到，而且甚至连最熟练的操作者之间的通信也远非无误。结果，需要以更严格的标准去制订组成最小的合法QSO的规则：一个有效的联络要求每个台都能拷贝到完整的呼号，一个信号报告或一些其他的信息，并明确承认所有这些信息已经被收到。在严密了这些指导方针之后，精明操作者采用的最小EME QSO通常是以附图的步骤来进行。

其中，信息“OOO”部分为信号报告的缩写表示法，以“O”代替信号报告“599”，而且反复地传输三遍。选择信号“OOO …… ”（以短空间分开间隔的3个载波接通重复序列，在每3个符号的后面有一个较长的间隔）来作为一个肯定的信号报告，明智

CQ BA7IA ...	BA7IA呼叫！
BA7IA BY1PK ...	BA7IA 这里是 BY1PK 。
BY1PK BA7IA OOO ...	BY1PK这里是BA7IA 我完全抄收到你的呼号，你的信号报告是O。
RO ...	我也抄收双方的呼号和信号报告，你的信号报告是O。
RRR ...	完全抄收！
73 ...	向你致意，再见！

附图

而又富有经验的CW操作者都知道在信号极端微弱的时候，莫尔斯信号的长音“嗒” 比短音“嘀” 更容易被收听到。信号“O”它有一个商定的含义：“实际上，你的信号至少一些时间是可读的，我都抄收了我们的呼号。”同样的，“RO”是双方传送信号报告和确认的缩写表示法。这意味着“我已经抄收双方的呼号和我的信号报告，而且您的信号报告是O”。

根据上述对 CW EME QSO 规则的概略说明，完成一个完整的 QSO 共进行 6 次的信息交换，信源编码把信息“BY1PK，这是 BA7IA，我都抄收我们双方的呼号，你的信号报告是 599”压缩成了紧凑的格式“BY1PK BA7IA OOO”。

由于EME传输信号的微弱和不稳定，在最大限度地精简传输信息的基础上，加入了冗余的信息，以提高信息被正确接收的机会，所有这些格式的信源编码能够帮助更容易地在微弱的信号中拷贝信息。

JT65信源编码

为了使传送的信息更紧凑和有效率，JT65协议中规定了3类传输信息的格式。其中“格式 1”被称为标准格式，这种格式所传输的信息是两个呼号、一个网格定位或一个以dB来表示的信号报告。“格式 2”被称为扩展格式，这种格式中所传输的信息为最大长度13个字符的文本信息。“格式 3”被称为简语格式，这个格式专门用于传送特定的像“RO”、“RRR”和“73”这样的简短消息。

JT65信道编码

信道编码的本质是增加通信的可靠性，信道编码的过程是在信源编码数据流中加插一些编码，从而达到在接收端能够进行判错和纠错的目的。但信道编码会使有用的信息数据传输减少，这就好像我们要运送一批电子管一样，为了保证在运送途中不出现打烂电子管的情况，我们通常都用一些泡沫、海绵和纸箱等材料将电子管包装起来，这种包装使电子管所占的体积变大，原来一辆汽车能装10000个电子管的，包装后就只能装8000个了，显然包装的代价使运送电子管的有效个数减少了。同样，在带宽固定的信道中，总的传送码率也是固定的，由于信道编码增加了数据量，其结果只能是以降低传送有用信息码率为代价了。将有用比特数除以总比特数就等于编码效率了，不同的编码方式，其编码效率有所不同。JT65所采用信道编码包括里德所罗门编码、交错和格雷编码等技术。

同步

与我们通常的QSO不同，为了提高通信的可靠性，JT65协议使用1分钟的发射/接收顺序来操作（根据EME通信的惯例，通常是由两个QSO电台中相对于在地球上的位置是东部的电台先发射），而且需要严格地同步发射机和接收机之间的时间和频率。对于互联网非常普及的今天，通过网络完成电脑时间的校准和同步已经不是难事，JT65的同步信号也就变得不是很重要了。因此，JT65协议未来可能会做出更进一步的改进，简化或者取消传输JT65的同步信号，让整个传输时间都用来传送有用信息，进一步提高通信的效率。

调制

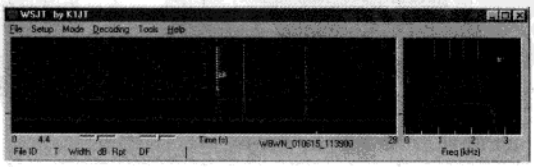
JT65数据信息采用65个音频载波以频移键控（FSK）方式进行基带调制，让信息分布在一段音频频谱上，这一调制形式比开关幅度调制（ASK）更有效率，比相移键控（PSK）更能宽容频率的不稳定。为了方便采用电脑的声卡进行信号的处理，JT65采用音频载波进行调制，从声卡输出的音频载波信号再经过业余无线电收发信机的SSB调制，把音频载波信号频谱搬移到VHF或UHF频段的高频率信号上去发射，从而完成整个信号的调制过程。

JT65数字通信模式像莫尔斯电码所做的一样，不直接地传送消息字符字元。相反地，整个消息被编码转变为独特的72位二进制序列，并形成64个6位符号的序列。这些符号被打乱顺序后，在一个无线电信道上传输。它们其中的一些可能完好无损地到达，而有些被噪声所破坏。如果很多符号在概率意义上界定是正确的，则全部72位压缩的信息可完全恢复出来。被解码的二进制序列随后被翻译成人可读的消息。

接收和解调

业余无线电接收机接收到从月球上反射回来的微弱EME信号，经过信号放大和SSB解调处理以后，输出的音频信号被送到电脑的声卡输入端。电脑通过软件对JT65信号进行解调工作。

JT65数字通信技术让我们从利用听觉解码信息扩展到利用计算机进行信号处理，并采用视觉进行信息读取，业余无线电通信技术也从模拟发展到数字。我们在感受到业余无线电通信技术飞跃发展的同时，也体验到数字通信技术的神奇效果。这些技术手段使我们能够克服器材和个人操作技巧的不足，克服大自然造成的种种障碍，达成了深空通信的梦想，使业余无线电活动迈向了一个新的高度。



中国业余电台设备与市场发展回顾（上）

——60年前的业余无线电设备

◎杨法（BD4AAF）

中国的业余无线电活动从20世纪20年代初就开始兴起，当时是广义上的业余无线电，对无线电接收（收音机）和发射有兴趣的人，都可以称为业余无线电爱好者，其中很多人后来都成为业余电台的中坚力量。

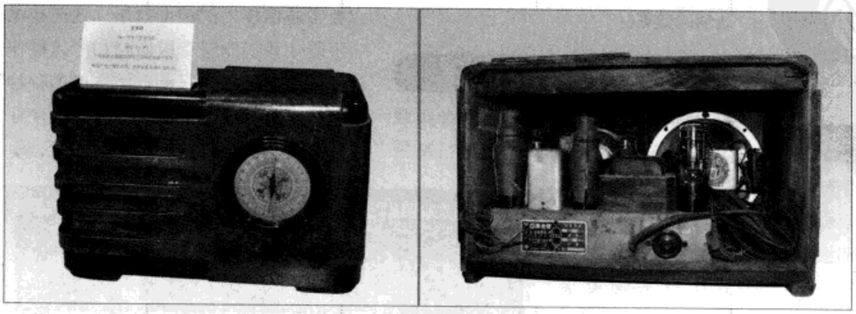
20世纪20年代——业余无线电起步时期

20世纪20年代初，苏氏姐弟在上海南市中华路建立起了家庭式无线电工作室，开始试制和销售自制的无线电零件，并以此为基础，于第二年（即1924年）10月成立了亚美股份有限公司（上海无线电二十六厂的前身），最初以矿石收音机起步，并在以后的几年中不断改进收音机结构线路，成为当时著名国货品牌收音机制造厂家之一。该厂生产的10号~14号接收机（后来俗称收音机）颇为有名。亚美产品在不断提升性能的同时，也不断努力提高产品元器件的国产化率，在20世纪30年代中后期出品的五灯超外差收音机已经可以达到除电子管和部分炭膜电阻外的元器件全国产化，其生产的1651型五灯超外差式中波广播接收机可以作为中国收音机制造史的一个里程碑，也是当时著名的国货精品。

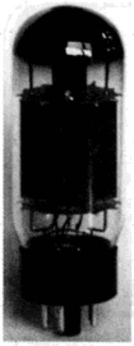
亚美收音机产品以上海市场为基础，渐渐向杭州等国内市场拓展，甚至远销海外。现在看来不起眼的电阻、电容、二极管在当时完全要靠进口，而且制造工艺还不成熟，产品价格很高。因为二极管非常稀有且价格高昂，所以很多业余无线电爱好者只能用矿石来替代，所以就有了矿石收音机（当时称为“晶石机”）。无线电技术在当时还属于一项新兴的高科技学问，在国内还处于初级发展阶段，所以入门门槛低，很多业余无线电爱好者大多凭借自己对无线电技术的热情，通过不断动手试验和阅读外国相关资料的译本自学成才，其中有不少人后来转行成为无线电的专业人员。当时制作和改进收音机是业余无线电爱好者的主攻目标，很多爱好者都自己装收音机并不断改进线路，线路图则来自国外的资料，线路板基本都是自制的，复杂一点的可以自己画完图后请无线电商店和工厂代为加工（当时一块线路板就给加工）。很多无线电器材商店的店员本身也是业余无线电爱好者，还常常会与顾客一起讨论图纸的改进和指出图纸错误的地方。现在看来非常普通的指针万用表，在当时可是非常高级的仪器，一般个人很少拥有，通常是无线电器材商店里有块公用的万用表，爱好者们带上元件上商店测量，这也成为当时一些商店吸引客户的手段之一。当时业余无线电爱好者高手自制的收音机在性能和结构上甚至优于一些进口的成品收音机。

20世纪30年代——业余电台崭露头角

20世纪30年代出现了真正意义上的业余电台，有部分业余无线电爱好者开始钻研并试制无线电发信装置。当时的一些主要大城市都开设了无线电器材商店，但制作发射电台需要的主要元件依然全靠进口，价高且不容易买到。30年代中期，在上海文庙路开办的中雍无线电厂为很多无线电爱好者提供各种价廉物美的零件，并可定制和维修各种接收机、收音机。国内第一批业余电台爱好者所用的主力发射设备都是自制的电子管CW（等幅报）发信机，常用的有6L6电子管，输出功率



亚美1651型五灯超外差式中波广播接收机



6L6电子管

在10~20W，工作频率在短波的低段和中波。接收机和发射机很多是独立的，振荡器都是LC振荡，由于元件品质有限，加之无法准确测量频率，所以频率稳定度和准确性很差。不少爱好者在操作时根本不知道自己工作的准确频率，只能说是X米波段，发射的频率要靠接收机来确定。通联时发出呼叫后要在附近频率寻找回答者，因为对方的设备频率同样不稳，这在现在看来是不可思议的事。

当时性能较好的成品电台完全是靠进口的，通信模式主要也是CW等幅报。成品电台作为军用物资，即使有钱也不容易买到。20世纪30年代末，在一些交战地区有些损毁的军用电台，包括被击落飞机上的机载电台流落到业余电台爱好者手里，但由于缺乏维修经验和备件修复率很低，没有成为业余电台的主力装备。当时在昆明就有一些损坏的机载电台出现在旧货市场上。在抗日战争时期，一些业余无线电爱好者纷纷投入抗日的洪流中，以自己掌握的无线电技术为政府服务，维护和维修无线电设备支援抗战。在一些大城市也开设一些半官方的无线电训练班，成绩优秀者还可以推荐相关工作，以莫尔斯电码报务收发为主，兼有无线电电子工程，吸引了不少对通信和无线电爱好的年轻人。

20世纪40年代——业余电台发展机遇

到了1945年二战结束后，业余无线电设备有了空前发展的机会。其原因是战争胜利后美国和日本的大量剩余物资开始流入民用市场，除了罐头和服装等生活用品外，大量无线电器材从零件到整机都出现在旧货市场上。虽然按照当时的规定，无线电整机都必须破坏后以零件形式处理，但在利润面前，很多人都直接出售卖个好价钱，一台成色好的二手Hallicrafters SX-28A（当时市场上最好的收信机之一）可以卖到100美元。一些旧货商还从军品销毁场所弄出漏网的电台、收信机，一些进水机（被扔到河里的机器）、土埋机、硬伤机（被砸的机器）出现在市场上。军用电台都代表了当时最高无线电科技。无线电设备经过几十年的发展其制造精密程度已经不是一般个人和作坊可以企及的，当时业余电台主流使用的设备，性能水平与军用电台相比相差好几个档次。当时自己制作高性能收信机的难度要远高于制作发信机，所以很多业余电台都乐于使用成品收信机。这些处理的军用电台对当时的业余电台爱好者而言，可是“天上掉馅饼”。无线电元器件由于数量众多出现供大于求的局面，价格迅速下跌，很快在旧货市场的一些发射机中，最主要的末级功放管和晶体都是白菜价了。由于维修配件多了，所以很多有故障的军用电台都在业余电台爱好者的手里得以修复，并成为日常通联的利器。当时主要接收机有BC342、BC348、NC-100、RCA-88、SX-25、SX-28、SX-28A。发信机有AN/ART13、BC610等。电子管250TH、813、807、805、838、6L6、6V6更是不计其数。仪器方面，万用表、BC-221系列频率计、信号发生器、电子管测试仪都出现了，这些仪器在当时都属于非常先进的。很多业余电台爱好者都趁机鸟枪换炮，设备更新的结果是发射频段拓宽了，发射频率稳定了，发射功率提升了。在14MHz上出现的中国业余电台数量剧增，发射功率很多都达到了100W，一些发烧级爱好者都成功地使用1000W CW on air。除了传统的CW以外，AM也逐渐开始应用，用户可以直接听到对方的话音，交流起来更为方便（当时并没有现在流行使用的SSB模式）。

这样的设备状况一直维持到了解放初期。解放前期我党在上海等地设立的地下秘密电台，一开始也是以操作业余电台作为掩护，购买零件并组装电台，及时为在延安的党中央发送情报。解放后，由于残留敌对势力猖獗，秘密电台活动频繁，所以业余电台的活动也暂时停止，很多从事业余电台的技术人士纷纷加入广播电视、邮电、部队通信等专业部门，以自己的知识继续为新中国建设而服务，成为很多部门的技术领头人，并参照国外经验成功地设计了我国第一批全国产的军用通信设备和大功率广播发射机。

Hallicrafters BC-610 发射机

BC-221频率计

Hallicrafters SX-28接收机

BC342接收机

中国业余电台设备与市场发展回顾（下）

◎杨法（BD4AAF）

——新中国成立后的业余电台

1958年11月，中华人民共和国的第一个集体业余电台BY1PK在北京开台，使用国家调拨的无线电设备，发射功率最大为1000W CW。当时BY1PK的主要通联对象是社会主义国家的业余电台，同时还是模式军事体育快速收发报的培训基地。

BY1PK在1966—1982年期间暂停通联。1982年，国家体委、国家无委发布《业余无线电台管理暂行规定》，集体业余电台得以恢复活动，1982年3月，BY1PK恢复通联。随后，1983年10月上海无线电运动协会集体业余电台BY4AA，1985年9月上海电子学会集体业余电台BY4AOM相继开台联络。这些集体业余电台的设备有不少是国外友人所赠送的，其中包括YAESU FT-101、Collins等经典设备。通信模式除了CW电报外，SSB话音模式开始逐渐流行。同时期的国外业余电台设备都开始提供SSB单边带话音的模式，与传统的AM话音相比，SSB模式具备同样的语音实时传送特性，且占用的带宽小得多，在短波通信中已基本取代AM话音模式的地位。

这一时期的业余电台设备虽然还是以电子管设备和LC振荡器为主，但晶体管机、电子管晶体管混合机开始流行，PLL频率合成技术开始使用，使得电台设置频率不再需要精密刻度盘而可以直接数字读数显示，同时频率稳定性和准确性大大提高。KENWOOD的TS-430就是全晶体管频率合成100W短波机的代表。频率合成数字频率显示是短波电台性能提升的一个标志，但并不是所有提供数字显示的电台都采用频率合成技术，早期的一些短波电台通过给LC振荡器的电台增加一个数字频率计来提供频率数字读出功能，这样的做法可以有效地消除模拟刻度盘的读数误差和机械误差。当时的业余电台工作频率在覆盖全HF波段的基础上向VHF发展，体积小巧、便于携带的144MHz FM调频话音便携电台开始兴起。

FT-101一体化收发信机

TS-430短波机

1982—1992 年，业余电台活动主要在体育系统和教育系统展开，设备以国外进口的成品收发信一体化电台为主。

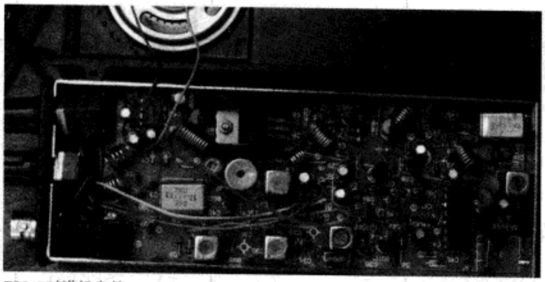
1992—1996年：个人业余电台蓄势待发

1992年，国家体委、国家无委发布了《个人业余电台管理暂行办法》，并于同年开展DT-92收信机的组装和收听比赛，该活动使社会上一些喜欢无线电的年轻人开始了解中国无线电运动协会和业余电台。

1993年，各地开始着手设立个人业余电台的准备工作，这项工作首先考虑的就是解放前搞业余电台活动的老业余家。这一时期个人的主要设备是144MHz的FM调频对讲机，短波设备当时比较少，具备SSB单边带的短波机也还不普及，很多HAM还用不带单边带而直接解调的老式军用收信机139/239/339配合拍频的方式收听SSB话音通信。当时的设备已经完全晶体管化，以分立元件为主，有的开始配合小规模集成电路和厚膜电路。

由于这一时期大部分人收入有限，加上进口的设备都是面向单位供应，价格很高，所以绝大部分个人业余电台多使用二手设备。市场上也没有专供业余电台的商家和货源，当时还没有互联网，所以各地器材信息很少沟通。很多二手的144MHz对讲机还不能从面板上自由设置频率。

1993—1996年，如果你有一台日本STANDARD C150对


F30-5对讲机套件

讲机,那是很有“面子”的事情，液晶显示、信号强度指示、支持频率直接输入，C150几乎就是当时先进技术的代名词。体积更小、功能更多的C160可以算当时最顶级的对讲机了。KENWOOD TM-241在当时也算得上非常高级的固定台设备了（尽管它在设计上仅是一款车载台）。由于新一代非专业通信出生的爱好者大多并不精通电报收发技术，所以直接的话音通信备受青睐。

从1993年末开始，社会上一些无线电爱好者已经耐不住寂寞，开始自己尝试发射通联了，当时河南开封推出一种30MHz频率的F30系列对讲机，并通过专业杂志连续做广告，引来全国几千名无线电爱好者的关注，前后总计销售近4500部（套）。这是一种结构简单，通过固定晶体控制的单一频率对讲机，它的优点是价格较低，200～300元的价格为当时很多年轻人所能承受，工作在10m波段，2～3W功率有时通过电离层反射可以进行全国性的通信。所以，一时间大江南北30.225MHz、30.275MHz非业余频率上出现大量自编代号的电台呼叫，他们中的很多人还不知道私设电台是违法行为，同时也不了解通过中国无线电运动协会的合法设立个人业余电台的渠道。

中国无线电运动协会于1994—1995年推出了10m波29.600MHz通信实验活动，并提供类似F30系列对讲机的活动专用散件，以及核发正规的BH字头临时电台呼号，那些非法的F30系列对讲机通过更换晶体也能工作在29.600MHz频率上。此次活动使社会上大量无线电发射爱好者走上了正规合法的道路，也成为以后业余电台技术派的主力军。

1997—1998年：个人业余电台稳步发展

1997—1998年，互联网开始出现，国内业余电台爱好者开始通过使用Mail List交换信息，在交流技术的同时也互通器材设备信息。这在一定程度上突破了器材交易的地域限制，二手器材交易蓬勃发展。

这一时期，业余电台爱好者手里的设备还是以二手设备为主，频率合成的VHF设备逐渐普及，一些二手的高级双频段手台和车载台开始崭露头角。短波电台方面，二手的国产XDD-A、XDD-D2B、XDD-801短波电台因其价格低廉、支持SSB、性能尚可而受到很多收入不高的HAM青睐，还有很多HAM将XDD-A改成7MHz频率合成。

国内生产短波通信机的某军工企业，为了配合个人业余电台活动的开展，曾尝试以国内很多单位使用的FT-80C为蓝本，为国内业余电台爱好者设计生产了一款XDD-950短波电台。虽然XDD-950在当时看来技术并不落后（频率合成、液晶频率显示、工作频率覆盖整个短波频段），售后服务也很好，但由于外观设计与进口电台还有距离，而且价格上与二手进口短波机相比优势不明显，所以并未在HAM界引起太大的反响，销售并不成功。国内一些专业国营大厂，如上海无线电二厂（红灯牌）、上海无线电二十四厂（花冠牌）生产的对讲机，由于功能方面不能满足业余电台的特殊需要，同时价格也很高，所以没有进入业余电台市场。南京无线电厂生产的FDH6-84型电台体积太大（足有一个冰箱大小），天津广播器材公司的IC-751和天津市电视机厂的MSR8000是当时很高级的短波电台设备，同样由于高达2万元和4.35万元的售价令HAM望而却步。

通过互联网，一些二手的进口短波机开始销售，不过货源不多，价格比较高，FT-80C、FT-757GXII、FT-840、IC-725、IC-735、TS-430、TS-440是当时最常见的短波机。由此，国内的HAM也认识了KENWOOD、YAESU、ICOM三家日本业余无线电设备制造巨头。这些进口短波机都具备了现代业余短波机的特征：全晶体管化、频率合成、频率连续面板调节、信号接收强度指示、具备SSB单边带通信模式。这一时期，还是由于收入的问题，下决心购买进口二手短波机的HAM不多（一部进口二手短波机的价格相当于当时很多人半年到一年的全部收入），成套的全新短波器材几乎只有集体台公款订购。由于价格和渠道的原因，国内零售市场业余电台设备几乎看不见，同时拥有个人电脑能够上网参与Mail List的HAM比例也不高。

FT-757GX短波机

1999—2002年：个人业余电台再度兴旺

1999—2002年，人民生活水平明显提高。这一时期全国很多地区相继开通了430MHz UHF业余频段，430MHz凭借其干扰小、天线尺寸小的优势迅速受到广大HAM的青睐，

IC-706MKIIG多波段电台

430MHz手持机已成为很多入门级HAM的首选目标。在开通430MHz频段的地区，传统的144MHz通信开始受到冷落，这不是说144MHz传播特性不好，只是很多大城市144MHz频段受到寻呼机干扰严重，通信距离和品质锐减。同时相对430MHz来说，144MHz设备使用的天线系统比较大。HAM的互联网通信也从Mail List形式升级为基于web页面的BBS论坛，使得用户更容易浏览到相关的内容，一些HAM器材的参考价格更为透明，完全打破了一些销售商的地域限制。

由于二手无线电器材市场潜力巨大，所以二手商纷纷加入，他们利用地域和渠道上的优势，将二手通信器材上网销售，极大地丰富了二手器材市场，二手进口短波机货源逐渐增加，价格不断下跌。有些有渠道的商人开始贩卖中国香港、日本等地的新款业余无线电器材，使得国内HAM也有机会使用与国际同步的先进器材，业余电台消费市场初具雏形。一些经济条件较好的HAM开始购买全新的中高档电台，大部分HAM依然着迷于价廉物美的二手器材。国家一些大单位更新通信设备，所以不少淘汰的单位用通信器材进入二手市场。在430MHz二手设备中MOTOROLA GP88/GP68/GP300/GM300、KENWOOD TH-48A/TH-78A/TK-808、KYODO KG-105/KG-107是当时二手市场上最常见的设备。二手短波设备KENWOOD TS-440/TS-50S、YAESU FT-757/FT-840、ICOM IC-751A当时都属于相当不错的收发信机。

这一时期，一些新概念电台也进入国内市场，如以IC-706MKIIG、FT-100为代表的HF短波（包含VHF/UHF多波段）多模式电台，以VX-5R为代表的紧凑型双频段宽带接收手持机，以VX-1R为代表的微型双频段宽带接收手持机。

2003—2006年：个人业余电台挑战与机遇

2003—2006年，业余电台爱好者注入了一股新生力量——自驾车一族，这股新生力量对业余电台活动来说是机遇也是挑战。自驾车一族因为车队外出需要一呼百应的通信工具而使用对讲机，参加无线电运动协会成为HAM是他们取得合法使用对讲机资格的唯一渠道。如果说，传统技术型的业余电台爱好者是技术派的话，那么自驾车一族就是实用派，他们的加入，极大地扩展了业余电台器材市场。市场大了，商家自然也多了，各个品牌的最新器材都开始出现在市场上，并出现购销两旺的局面。

二手市场方面由于一些单位通信设备的升级，大量通信器材通过二手商进入二手市场，依托网络交易各类电台设备交易空前繁荣。更多有渠道的专业商家纷纷加入业余无线电器材销售的行列，国外一些名牌业余电台设备几乎都有了在国内直接购买的渠道，多元化的快递业迅速发展，使得网上异地器材交易变得更加方便快捷。在国际大环境中，由于世界业余电台市场的相对萎缩，有的老牌业余电台器材制造企业减少在业余电台器材上的投入，产品更新率明显放慢，开始主攻商用电台市场。也有相对较小一些的企业抓住契机，增加投入，强化产品，想登上业余电台器材老大的位置。

这一时期的进口电台设备都采用全贴片元件制造、单片机控制、大规模集成电路、菜单化设置，电台制造水平到达一个新的层次，电台从单纯的信号收发设备向多功能多频段发展。新概念电台模式得以继续发展，多波段多模式电台FT-897/857价格平民化，紧凑型双频段宽收手持机成为国外厂家技术争锋的新焦点。继VX-5R后，VX-7R、TH-F6A、VX-6R、T90纷纷登场并各具绝活，VX-2R也成为新一代微型双频段宽收手持机的代表作。由于科技的发展和竞争的加剧，很多业余无线电器材设备价格出现稳中有降的局面，一些厂家相继推出高性价比的器材来扩张市场占有率。ICOM的IC-718短波机的市价4000多元，这个价钱在1999年连一部二手进口短波机都买不到，以前购买单频段设备的资金现在已经可以买到双频段设备。以前象征高端设备的V/U双频段电台渐渐成为主流，典型的产品是TH-G71A和FT-7800R。车载台依托自驾车一族也更多真正的用以车载移动通信，针对小型车辆的车载安装，绝大多数新款车载电台都提供了机头分离功能。一些新技术开始应用于中档业余电台设备，比如DSP信号处理技术和数字降噪声技术。虽然在FT-897D/857D上应用的DSP仅仅是音频AF DSP处理，但对噪声的抑制多少有点作用。国产的对讲机开始崛起，尽管国内厂家主要针对更为广阔的商用市场，但业余电台爱好者也受益良多。随着业余电台市场的扩大，一些国内厂商开始走“商用机为主，兼顾业余市场”的路线。虽然一开始纯国产对讲机性能与进口对讲机相比还有差距，尤其是发射功率普遍只有2W水平，制造工艺也有待改进。但国货的技术发展非常迅速，每年都有新品推出，技术性能也逐年攀升。2006年一些南方民营企业已经推出性能上广为业余电台界和商用电台界认可的多款对讲机产品，并且积极拓展国外市场。2006年，业余电台圈子里公认性能最

FT-897多波段电台

IC-756PRO Ⅲ基地电台

好的国货大金刚、小金刚、普星PX-777，到了2007年全面为LT-6600、LT-6100plus取代。

2007年：个人业余电台蓬勃发展

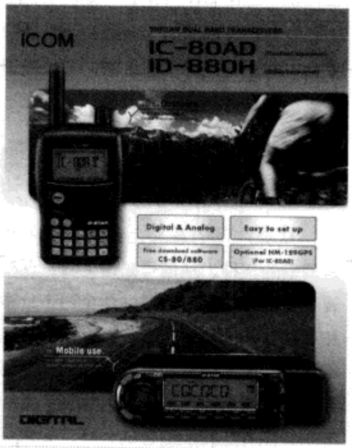
2007年以后，全新无线电设备的销售量节节攀升，大多新HAM都不再去淘二手设备，直接把注意力放在新款高档设备上，相对于一部高档移动电话的消费，一部业余电台的价格并不太高。更多高端的国外通信器材进入市场，IC-7000、IC-756PRO Ⅲ在国内销售得很好，就算ICOM公司最高档的IC-7800旗舰短波机在国内照样有人购买，足见新时代国内业余电台爱好者的消费实力。在设备的使用技术上，中频DSP处理技术开始应用到中高端设备中，同时也成为产品的新卖点，热销的IC-7000、IC-756PRO Ⅲ、FT-450都具备中频DSP处理技术。彩屏移动电话早已普及，使用彩色液晶屏幕的对讲机/电台在专业机和业余电台上同时出现，成为电台设备发展的新方向。业余电台通信的新模式也不断涌现，ICOM D-STAR数字语音、GPS数字传输、1200MHz频段的使用、宇宙空间站通话实验、纯数字通信的尝试使得古老的业余电台也开始跟上时代的步伐。国产对讲机技术已经得到很好的完善，对讲机小型化、4～5W高功率发射、收发CTCSS/DCS编解码、锂电池供电等样样具备，其主力产品的基本性能已不输于进口同类产品，而且能提供低廉的价格，为新时代无线电爱好者进入业余电台领域放低了门槛。比如LT-6600/6100Plus，就是很多HAM称道的国货精品。价廉物美的国货电台也开始走出国门。国货电台也开始由仿制为主慢慢转向自主开发，包括对讲机的外观设计和内部线路。如果经常出国，你留心一下就能发现，在很多中小国家，越来越多的商业对讲机中都出现了中国品牌的标识。

2008—2009年：个人业余电台数字化时代的到来

2008年，业余电台器材制造厂家推出了一系列新品，如YAESU VX-8R、ICOM 92AD、IC-7200、IC-7700、IC-7600，它们都再次刷新了各自品牌的产品线。2008年末，国产的双频段手持对讲机上市，标志着国产对讲机生产技术水平的提高。2009年，有更多国内厂家推出了双频段手持对讲机产品，其实双频段对讲机就是针对业余电台设计生产的，可见业余电台市场在厂商心目中分量的增加。在技术上，传统的单频段手持对讲机技术基本为国内厂家所掌握，双频段手持对讲机的设计、生产是国内厂家的新课题。目前国产的双频段对讲机已经由准双频段向双频段双通道发展，产品也由起步向成熟发展迈进，新品上市的双频段对讲机就像5年前的国产单频段对讲机那样，性能不断得到改进提升。

VX-8R蓝牙多波段手持电台

U/V波段的数字化通信成为一些HAM尝鲜的新事物。ICOM主推的D-STAR是专为业余电台设计开发的数字通信模式，其中包含目前比较先进的集群控制和微波传输联网技术，ICOM为此推出的IC-2820DG、IC-91AD、IC-92AD双模430MHz电台成为高端用户的首选。今年，ICOM也推出了性价比更高的IC-80AD、ID-880H系列，以支持D-STAR数字模式的双模对讲机，争取主流大众用户。MOTOROLA推出的商用MOTOTRBO数字通信系统恰巧包含U/V业余频段，并兼容传统模拟FM调频模式，使得HAM也有机会首次使用具有世界先进技术、基于TDMA（时分多址）的数字化通信产品。同时，随着美国政府机构通信电台的P25数字化进程的深入，大批老式电台被淘汰，在国内二手市场上出现了大量MOTOROLA当年高端的通信设备，包括一些ASTRO数字电台，这也使HAM有机会花费较少的钱一窥专业数字通信系统。欧洲数字集群对讲机TETRA标准在国内一些专业单位开始广泛应用，虽然TETRA系统并没有考虑业余电台的应用，但亦有不少HAM尝试改制现有的TETRA设备到业余频段工作，以进行通信试验，感性地了解目前世界前沿通信科技。



2009年，我们迎来了新中国成立60周年大庆，很多大城市的专业通信网都开始实现数字化、集群化，移动电话的3G时代也已来临，业余电台也应该在技术上与时俱进，向更高的起点迈进，国内通信器材制造业也应该在目前蓬勃发展的形式下继续走出自主创新的新路。

收发信机DIY实战

◎时刻（BA6BF）

进入单边带通信的世界

编前语：对于无线电爱好者而言，自己动手制作一台收发信机，总是充满乐趣的一件事情。上期，时刻老师为我们介绍了几款等幅发射机的基本电路，希望大家能从等幅发射机开始，通过这个系列的文章，逐步体会自制收发信机的各个环节的乐趣。

和大家一样，我也是一个单边带迷，而且我也明白这个连载的主要目的是展示人们将会从无线电通信中得到何等的乐趣，而不是按部就班地介绍某一款电路的结构。

有位初学者朋友问我，如果调幅或调频可以传送语音信号，那么为什么还要花费更大的精力去研究单边带通信模式？在回答这个问题之前，不如先谈谈单边带是什么。

给等幅发射机加上平衡调制（DSB）

从更广泛的意义上说，单边带也是调幅的一种。从信号频谱上看，调幅波主要由3个部分组成（两个边带分量和载波）。占调幅波一半功率分量的是载波，而这个载波却不含有任何我们需要传送的信息，这的确令人沮丧。无线电先辈们肯定和我们想的一样，如果可以仅仅发射我们需要传送的信息，那么就可以把发射机的输出功率降低一半而继续完成通信。真的可以吗？你打赌吧。

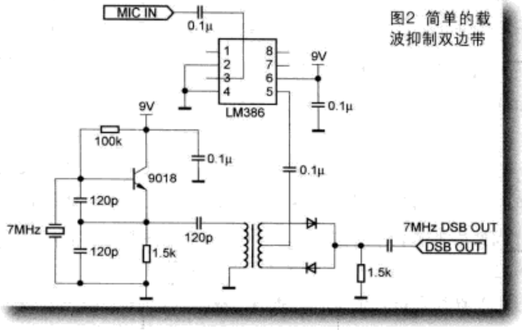


图2 简单的载波抑制双边带

图1所示的这种二极管平衡调制器有一个很特别的脾气，它有两个输入端和一个输出端。高频载波 $f1$ 从一个输入端进入，音频 $f2$ 从另一个输入端进入。在输出端输出的信号有（载波频率＋音频频率）$f1+f2$ 和（载波频率－音频频率）$f1-f2$，而载波 $f1$ 却不见了。这很神奇，但平衡调制器的确可以把无用的载波消除在发射之前。

这个简单的平衡调制器从原理上说将会很复杂，也许涉及许多繁琐的数学公式。但我想说的是，即使我们仅仅知道这种电路形式，也丝毫不妨碍将它应用于我们的DIY活动中来。如果愿意的话，不妨尝试动手做一个微功率的双边带（DSB）发射机（见图2）。当用这个电路发射信号的时候，用普通的收音机将无法正确解调出语音信号。因为它输出的信号中没有调幅解调器必须的载波分量，所以您听到的将会是非常含糊的“呜哇呜哇”的声音。

这个电路做起来相当容易，但是由于它的输出功率小到几乎无法察觉。所以如果有一部单边带接收机，那可能要把它的输出非常靠近接收机的天线输入口才可以清晰地听到。不用难过，它仅仅是我们介绍单边带发射机电路的开始。

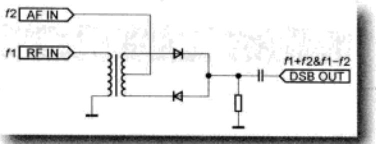


图1 简单的二极管平衡调制器

把DSB发射机滤除一个边带（SSB）

DSB电路输出的信号没有载波存在，但是它却有两个携带完全相同信息的边带，事实上只要发射出任何一个边带，就仍然可以传送我们需要传送的音频。那么下面需要解决的问题就很清楚了，在我们消除了载波以后，继续努力消除掉两个边带中的一个就成为实现真正的单边带通信所必须的技术难题了。

这个问题之所以被称做难题，难就难在这两个边带的频率仅仅相差3kHz左右。在RF波段要把频率相差极小的两个频率分量选出一个，在60年前那可真不是一件容易的事情。理论上最单纯的办法是使用一种带宽极窄的滤波器直接把其中一个边带滤除掉，LC滤波器显然满足不了这种要求，它的Q值很难做得很高，所以带宽也不可能做到在RF波段达到3kHz的指标。于是在单边带通信模式诞生的初期，曾经有过一种移相式产生单边带信号的方法。当然，移相式单边带电路无论载波抑制或是边带抑制的指标在当时都无法做得很高，所以在机械

滤波器和晶体滤波器发明以后，移相式单边带发射机逐渐被滤波式取代。

早期的专用单边带滤波器是一种非常精密而且昂贵的器材，事实上直到今天，一只高性能的机械或晶体滤波器的价格也相当高。幸运的是，我们所处的年代已经远不是几十年前的情形，虽然高性能的滤波器仍然是一般爱好者消费不起的，但是自制一只性能不是那么高的晶体滤波器再也不是天方夜谭。

图3是一个简单的T型单边带晶体滤波器，虽然指标不是很高，但是可以用它来做一个简单的并且可以实用的单边带发射机。石英晶体的频率可以在4～12MHz之间选取，图中的27pF配谐电容可以在实验中选择最佳的容量，它的大小会影响滤波器的带宽。实际上滤波器的节数还可以增加，会在一定程度上提高滤波器的性能。比如可以使用6晶体甚至8晶体，只要依次串联进去即可，如图4所示。

在商品晶体滤波器中，大多采用差接桥式电路，可以有更好的特性。但是，差接桥式边带滤波器对石英晶体的要求比较高，在一般业余条件下自制，难度是很大的。而业余条件下寻找几只频率基本一致的石英晶体则是再容易不过的事情，而且晶体频率稍有不同也不至于太影响效果。

好了，把边带滤波器加进前面介绍的DSB电路的后面，让我们来产生真正的单边带信号吧。

读者可能已经注意到了，在图5电路中振荡器增加了一个电感和可变电容器，这是为了把4MHz的晶体振荡频率下拉2～3kHz。把频率拉到距离边带滤波器中心频率2～3kHz，这是正确产生单边带信号的关键。

实际上我们可以用频谱分析的方法来理解单边带信号的产生原理。在图6中，3.975MHz是原始的载波频率即振荡器的振荡频率，LSB和USB分别是经过平衡调制过后带有相同信息的下边带和上边带频率分量。梯形是边带滤波器的通频带，4MHz指的是边带滤波器的中心频率，而这个边带滤波器的通频带一般为3kHz左右。我想可以这样通俗地理解：边带滤波器的通频带是一个宽度一定的大门，它固定的位于路的一侧。而上边带和下边带频率分量相当于均匀直线行驶在路上的汽车，于是在门宽度和位置内的汽车被放行通过，而在门宽度和位置以外的车辆则被阻挡不能通过。在这个电路中，由于USB（上边带）频率落在了滤波器的通带范围内，于是它正常的通过了滤波器进入下一级电路。而LSB（下边带）则不在滤波器的通带范围内，于是它受滤波器阻挡而不能进入下一级处理。这就是滤波法产生单边带信号的原理，当读者正确理解了这个原理，那么对于该如何调整单边带电路就显得很容易了。

显然，边带滤波器的中心频率在电路和晶体定好以后，就无法做任何调整了。所以，对于单边带的调整就只能依靠调节载波频率来完成。应该可以看出，上下两个边带对称的分布在载波频率两侧，所以如果我们可以把载波频率调整到距离边带滤波器上沿或下沿的某个地方，那么我们就可以从滤波器的输出端得到正确的边带信号。这很有趣，由于边带信号和输入的音频信号相关，所以在调整载波频率的时候，由于边带滤波器的存在，可以感觉到明显的音域和音色的变化。在业余条件下，我们通常把声音调整到清晰悦耳就算大功告成。单边带电路的调整简直就是一种艺术，仔细体会载波频率变化带来的声音特征的变化，那将其乐无穷。

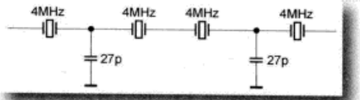


图3 简单的T型单边带滤波器

图4 8晶体T型边带滤波器

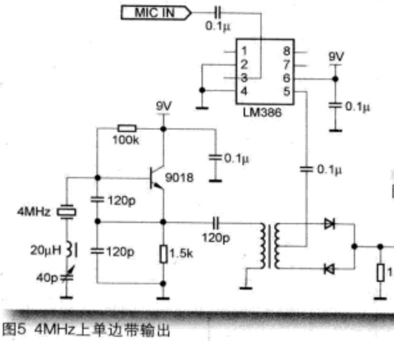


图5 4MHz上单边带输出

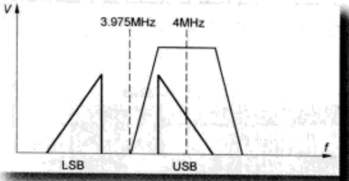


图6 频谱分析

让SSB发射机工作到你想要的频率上

如果一部电台只能工作在一个频率上，是不是有点无聊？我不知道会不会有人只在一个频率上工作，但是肯定我不会。让电台工作在尽可能宽的业余频率上，也许是一项很重要的工作。很显然，为每一个工作频点准备一个边带滤波器是不现实的。超外差电路又一次拯救了无线电通信，这的确是我们的幸运，让我们一起来感

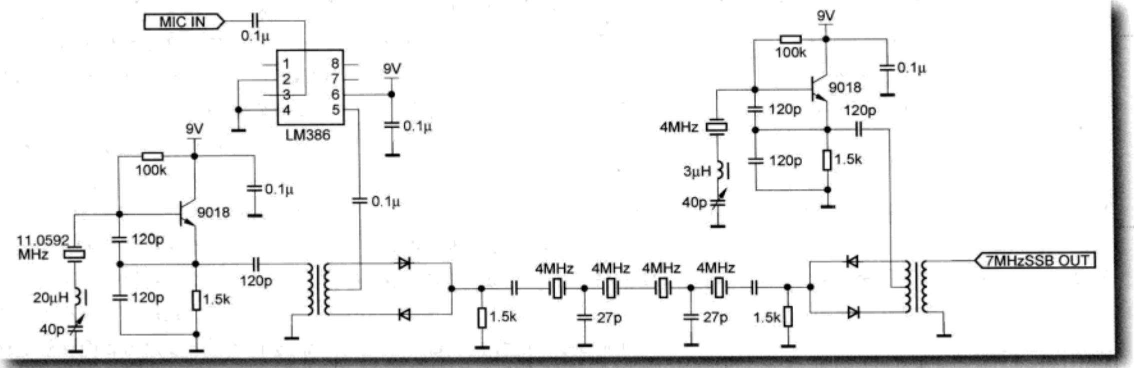


图7 7MHz单边带输出

谢阿姆斯特朗先生吧。

如果把图5中的4MHz上边带信号作为超外差电路的中频，那么只要再增加一个变频器和一个本地振荡器，我们就可以把这个单边带频率搬移到任何我们想要的频率上。

图7中新增加的本机振荡器工作在11.0592MHz，这样它可以正好与4MHz的中频减出7.0592MHz的工作频率，而这个频率完美地落在国内最常用的40m业余波段，在这个波段上，从早到晚都聚集着不知疲倦的HAM。从这个波段开始业余短波通信，是多数单边带爱好者常用的做法。图7中使用的零件都是最容易买到的，比如4MHz和11.0592MHz的石英晶体在市场上随处可见。如果幸运一些，可以买到10.245MHz附近的晶体，那么还可以让这个电路QSY到14.245MHz，而14MHz是国际上最常用的DX黄金波段，在这个波段，一年四季从早到晚都有可能进行越洋通信。

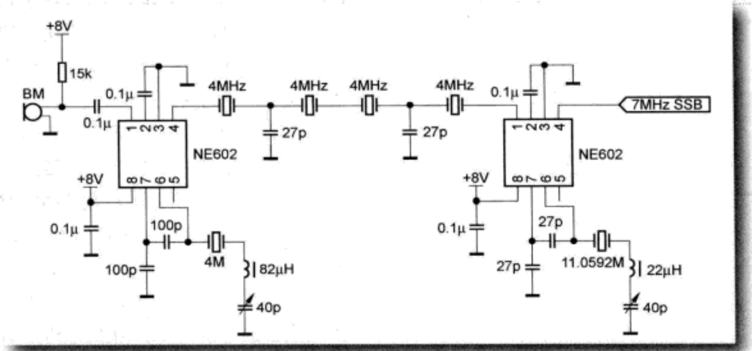


图8 使用NE602的7MHz单边带

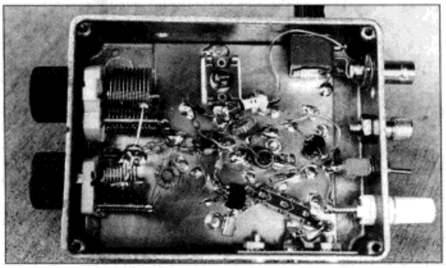
在上期的文章中，我们了解了NE602这个集成电路。NE602内部集成了本机振荡器，并且还具备18dB的变频增益，如果可以找到两块NE602，那么我们可以用更简单的方式完成图7的工作，见图8。

感谢现代电子工业的发达，让我们可以充分展示自己的想象力和创造力。几乎所有在60年前困扰无线电通信先辈们的技术和器件难题如今都不再成为问题，在下期中，我们将让本期介绍的有关单边带电路成为真正意义上的单边带发射机。

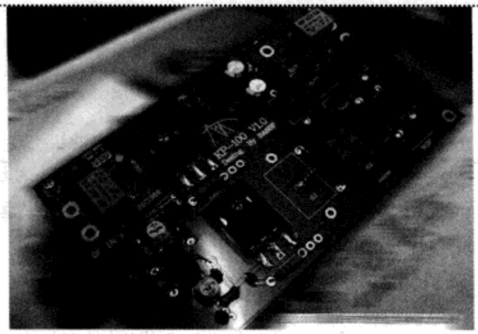
采用NE602的直接变频接收机

——摘自《射频电路设计实战宝典》

这个接收机的基础是一块NE602（或NE612）的集成电路。这个芯片易于使用且在低电流接收机中表现优异。NE602内有混频器和振荡器，这两个部件在接收机中至关重要。在直接变频接收机中的混频器能把天线接收的外差信号直接变频至音频信号，振荡器给混频器的转换提供了LO（本地振荡），NE602中的振荡器后跟随缓冲放大器。NE602中的混频器则是一个如Gilbert Cell（吉尔伯特单元）一样众所周知的双平衡电路。



附图中的接收机工作在40m波段。如果你要试试其他的波段，需要改变两个电感器。将1.16μH的电感器增加为4.5μH，会使接收机工作频率正好降至80m波段，带波段开关的接收机是可以实现的。



收发信机DIY实战

业余高频功率放大器

◎时刻（BA6BF）

为了得到足够的通信距离和预期的通信效果，我们通常必须使发射机具备一定的输出功率。单边带调制器的输出功率显然太小了，为了让发射机的输出功率达到实用的程度，功率放大器是必不可少的。

作为一个实用的短波发射机，一般必须有足够的输出功率。而功率放大器的增益通常并不太高，用调制级的输出电平直接推动功率放大器是不行的。所以，多增加几级放大器来提高输入功率放大器的电平是保证功率放大器得到足够激励的有效手段。

图1是一个缓冲放大器的电路实例。 这个放大器的核心是一只2N5179晶体三极管，它工作在甲类状态，可以在170MHz以下提供最大19dB的增益。它可以接在单边带调制器的后面，用来提供大约100mW的输出功率。电路没有可调元件，但由于放大器工作在线性状态并且增益很高，所以在制作时应该按照高频电路的原则来进行。放大器有一个需要自制的元件T，即宽带传输线变压器。它起到阻抗变换作用，阻抗比为4:1，可以使用NXO-100高频磁环来绕制。具体照片及绕法可以参考图2。

如果你的发射机功率要求不高，比如只需要制作1W的QRP，那么在这个缓冲放大器后面就可以直接驱动末级功率放大器。更大功率的末级则需要更大功率的激励，如果末级输出功率要求在10W以上，那么再增加一级中间放大器看来是必要的。随着放大器驱动能力的提高，相应的电路参数及元件选取都要做一些变化。读者可以留意一下晶体三极管偏置电路的元件取值，这很重要。我以前经常收到一些初学者朋友的信件，描述了制作的发射机得不到足够的输出功率，而研究他们的图纸，很多都是因为偏置电路的参数设计不合理。

图3介绍的1W放大器通常在10W发射机中作为功放级的推动，2SC1162的静态电流为330mA。甲类放大器的发热量是很大的，所以必须把2SC1162安装在散热器上才能稳定工作。如果只做1~2W的发射机，图3电路就是一个不错的选择。当然，如果要用这个电路做末级输出，为了阻抗匹配，要把输出变压器的接法稍微改动一下。

非线性功率放大器

很显然，单管非线性功率放大器是最容易制作的末级之一，图4是一个经典的15W丙类功率放大器，它通常工作在单波段。但是通过更换输出低通滤波器，它可以很好地工作在40m、20m和15m波段。由于工作在丙类状态，所以这个电路具有很高的效率，用在便携的CW发射机中一般被认为是很好的选择。

电路很简单，在制作的时候可以找一小块覆铜板，用刀刻出电路板来进行安装，ARRL《业余无线电手册》还介绍了这种放大器自制散热器的方法和尺寸。我想说的是，业余DIY要善于利用手边的材料，不一定什么都要找到专用的部件。漂亮美观的制作和性能高低并没有直接内在的联系，而通常情况下，过于注重美观反而容易引起各种不可预料的问题，对于高频电路来说尤其如此。

图4中的MRF449A可能不太容易找到，如果对输出功率要求不是很高，可以用2SC2078尝试代替MRF449A。不过此时输出功率可能会降低到5W左右，继续提高功率可能会对2SC2078造成损坏。这时，我们可以采用稍微复杂一点的推挽功率放大器，图5中的电路同样工作在丙类状态，两只2SC2078同时工作输出10W以上的功率也不是难事。在电路中T1为16:1阻抗比的高频变压器，用来给两只功率管提供合适的阻抗变换，它使用小型的NXO-

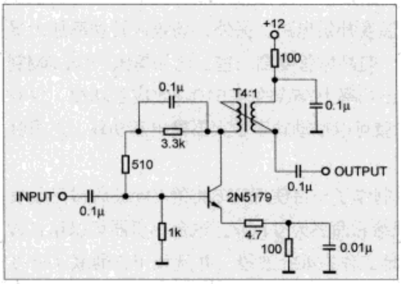


图1 增益19dB的宽带缓冲放大器

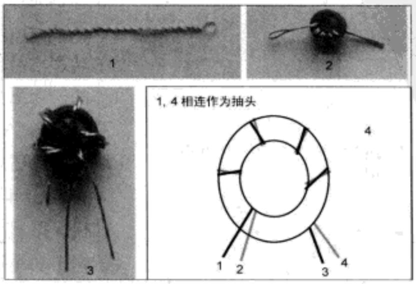


图2 高频宽带传输线变压器制作图解

100双孔磁环绕制。初级4圈，次级2圈中心抽头。T2为1:4阻抗比的高频输出变压器，使用NXO-100双孔磁环，初级2圈中心抽头，次级绕2圈。图5电路的效率比较高，效果也可以得到保证，并且造价要比图4的电路低得多。

线性功率放大器

非线性功率放大器只能用于幅度不连续变化的场合，比如等幅电报、调频等调制模式。如果用于单边带发射机，则必须要求功率放大器可以放大幅度连续变化的信号，这就要用到线性功率放大器。

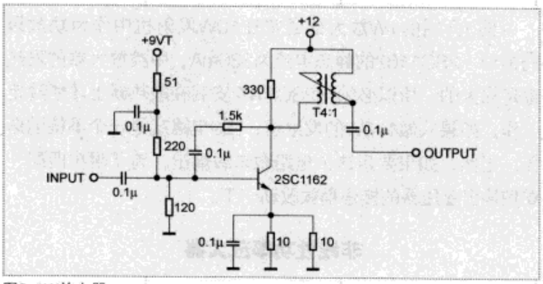


图3 1W放大器

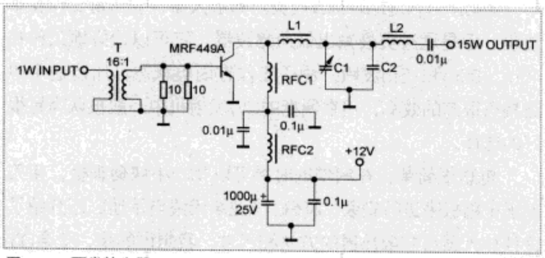


图4 15W丙类放大器

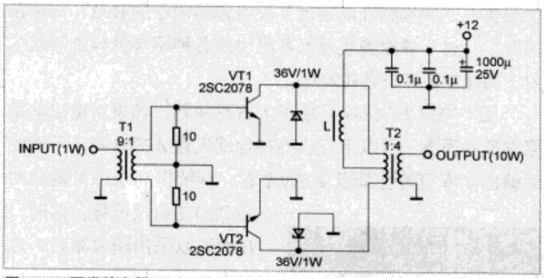


图5 10W丙类放大器

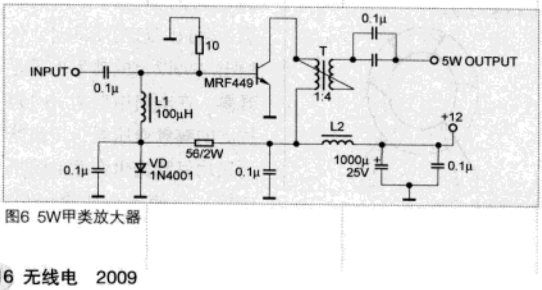


图6 5W甲类放大器

表1

波段	L1	L2	C1	C2
7MHz	0.6μH	1.1μH	450pF	820pF
14MHz	0.3μH	0.55μH	450pF	220pF
21MHz	0.19μH	0.39μH	450pF	不装
磁环可以采用国产NXO-10材料				

线性功率放大器的功率管一般要工作在甲乙类，要求高的时候甚至工作在纯甲类状态，但这时候功率管的电效率要远比丙类的时候低。所以，为了兼顾线性和效率，一般让功率管工作在甲乙类状态。为了进一步提高效率，多数线性功率放大器都使用双管推挽输出电路，这样功率管的工作点还可以进一步降低，而不会过分地影响线性。高频推挽功率放大器的原理和音频场合基本一样，大致可以用音频推挽功率放大器的概念来理解高频场合下的应用。

但是对于小功率的发射机，由于功耗相对较小，比如5W以内，很多人还是愿意使用单管线性功率放大器，如图6所示。由于甲类放大器的功耗远比丙类大得多,所以可以看出，在图4中可以输出15W的MRF449，在这里做线性放大只能安全地输出5W。同理，如果在这里用2SC2078这种廉价的放大管，输出2W左右就可以了。由于功率管的功耗相当大，所以温度相对比较高。为了防止晶体三极管产生“热跑脱”，1N4001在这里用于温度补偿。在安装上，1N4001需要用导热硅胶紧贴在功率管的表面，或者直接焊在晶体管的发射极。这样，当晶体管的温度升高时，1N4001上的电压降就会相应的下降，从而带动晶体管的基极电压下降，于是晶体管的功耗也随之下降，从而形成温度补偿作用，维持了晶体管工作在线性状态，并保证了晶体管的安全。

在欧美一些业余无线电爱好者中，使用HEXFET做线性功率放大器十分流行。这种功率场效应管用于高频功率放大最大的一个好处，就是它们相对专用高频功率管来说十分廉价，而且场效应管具有负温度系数，当管子温度升高时，工作点也随之下降。所以用场效应管做线性功率放大的时候，就不需要额外的温度补偿电路。另外，场效应管功率放大器的功率增益也比一般晶体管要高一些，比如美国一位HAM制作的一台最大输出功率为75W的IRF510场效应管功放，仅需要1W的输入功率就可以推动功率放大器输出满功率。这很吸引人，对吧？

2007年，我制作了一台使用IRF640的40m波段微型收发信机，见图7，我给它命名为KN-Q7。这台小机器可以用10W的输出功率很好地工作在40m波段，并且我用它通联了许多的电台，而它的造价仅仅为100元多一点。图8中的电路就是

KN-Q7中的功率放大部分，可以看出，它的偏置电路和前面的晶体三极管电路完全不同。

单管线性功率放大器电路简单，制作容易，但是从电效率上说却是比较低的。如果采用双管推挽电路，则性能和效率会有大幅度提高。所以，通常发射机的末级会采用双管推挽输出，图9是一款成熟的完整高频放大器的电路图。我第一次见到它的原型机是10年前，在福建业余无线电运动协会设计的AX94收发信机组件上。这个电路性能相当好，经过改进被用作我设计的许多收发信机发射单元。从2005年起，我开始试验在低压（13.8V）条件下用IRF功率场效应管做高频功率放大，而在此以前，HEXFET通常在24V以上的电压下应用。KN-710就是在13.8V下使用IRF640组成推挽甲乙类功率输出的，它的发射单元放大器的前级、推动级与图9完全一样，只是末级用了2只IRF640代替了昂贵的2SC1971专用发射管，见图10。事实上，KN710在13.8V下最大输出功率可达到40W，并且具备很高的效率，而且指标也还说得过去。

HEXFET相对专用发射管非常廉价，而且对初学者来说，安装的难度也要小得多。当然最让人狂喜的是，即使是可以输出100W功率的，比如IRFP250，它的售价也不过几元钱而已。虽然指标可能不太高，但是作为实验用途，尽管拼命做就好了。

连载进入本期，电路开始具备比较高的增益。尤其是在高频状态下，不可以照搬音频放大器的制作习惯。

高频电路制作要点

☆PCB制作要遵循大面积铺铜作为地线的原则。

☆各个需要接地的部件应该尽可能短地就近接地，低频或数字电路中一般强调的一点接地在高频电路中是要绝对避免的。

☆供电单元要对地多并联一些高频特性好的小容量电容。

☆各种高频扼流圈要用高频磁环绕制。

☆传输线变压器的绕制需要注意使用高频高μ值的磁性材料，最少也要用NXO-100的型号。

图7 使用IRF640做功放的40m波段单边带收发信机

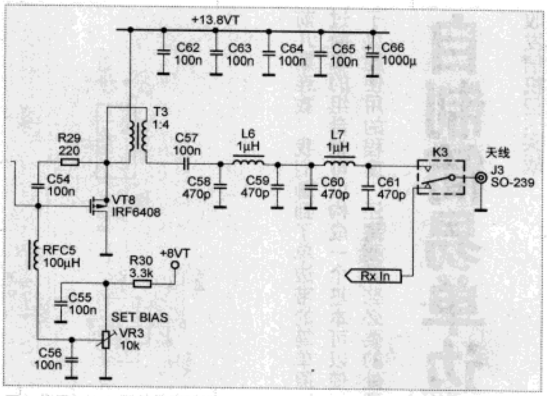


图8 使用IRF640的单管线性放大器

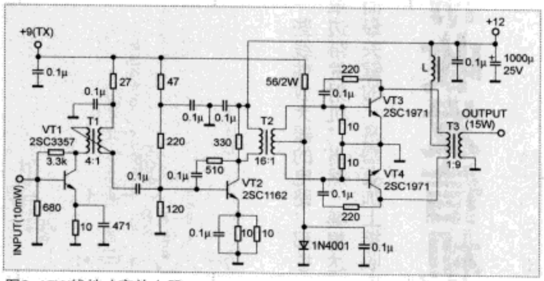


图9 15W线性功率放大器

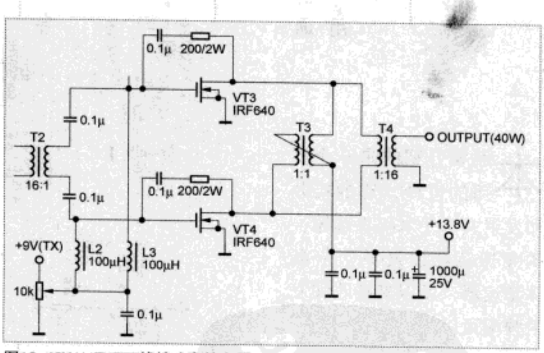


图10 40W HEXFET线性功率放大器

☆各个单元电路，如果电路板是独立的，则一定要使用高频同轴电缆进行高频信号连接。

☆必要的时候需要给高增益电路做上接地良好的金属盒屏蔽。

本期介绍的电路大多都具备了实效发射能力，所以在进行相关实验的时候，需要遵守国家相关的无线电管理法规。最好的做法是接上假负载进行实验，这样可以保证避免没有调试好的信号通过天线发射出去，而且也可以最大程度地避免由于调试不当造成器件方面的损失。

收发信机DIY实战

自制简易单边带收发信机

◎时刻（BA6BF）

前几期连载，我们聊到了单边带的简单原理和一些线性放大器的电路，那些电路通过简单的组合就可以构成一个基本可以使用的单边带发射机。当然，要想达到适用于火腿使用的程度，还需要做些必要的处理。而最关键的，是需要加上接收电路。

本期要介绍的是一个实用的设计，它的接收和发射共用了本机振荡器、拍频振荡器以及单边带晶体滤波器，所以其接收和发射频率可以做到完全一致，事实上几乎所有的单边带收发信机都是这么设计。可以用于单边带调制和解调的元件很多，NE602是一种，我比较喜欢用的还有一种是UPC1037H（UPC1037是日本NEC公司生产的一种双平衡混频器，它具有外围电路简单，载波抑制度高的特点）。它的外围元件和NE602一样非常少，但是没有内置振荡器，所以需要单独给它准备一个振荡器。图1和图2是这个电路的电原理图。图3是这个电路工作的方框图。

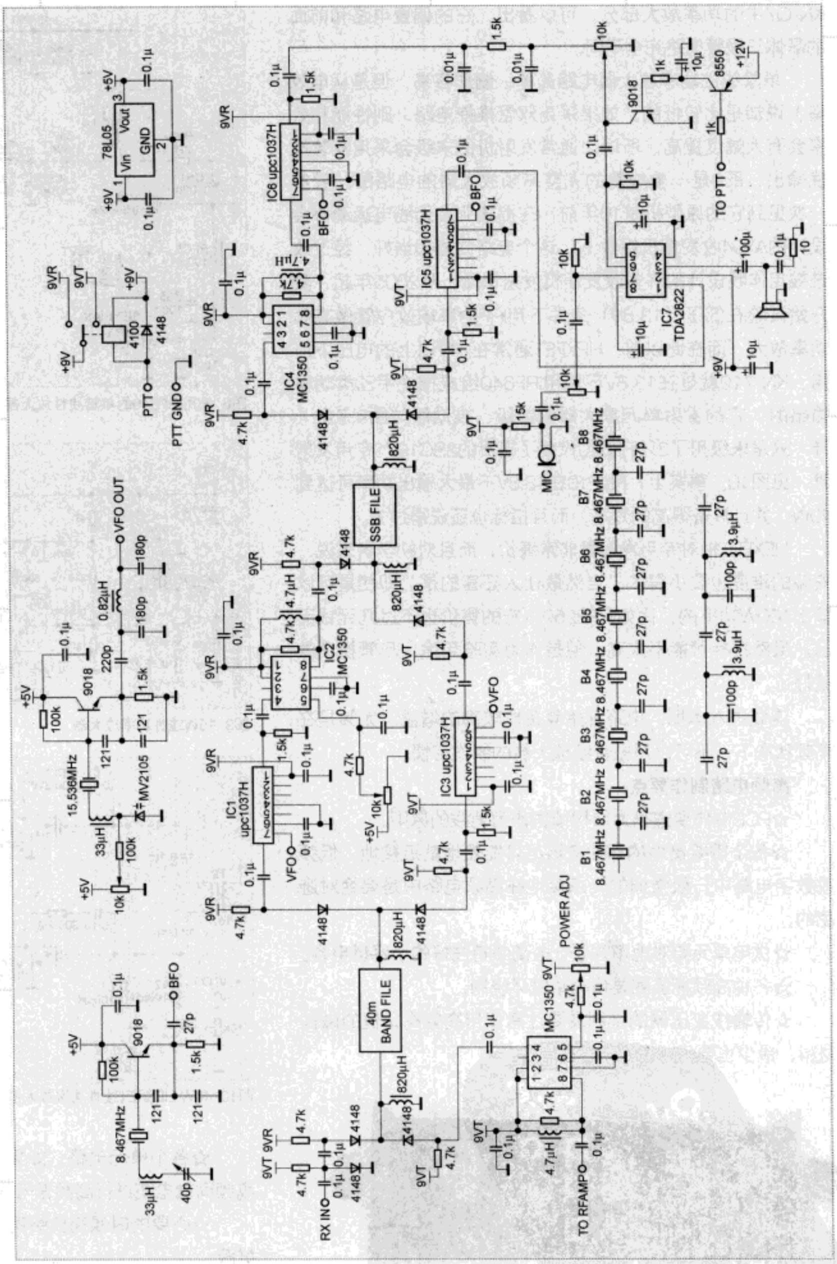


图1 接收及发射前级电路图

电路原理

为了方便理解，我们在描述收发信机的电路结构时，通常会把接收和发射电路分开来。对于接收电路来说，天线收

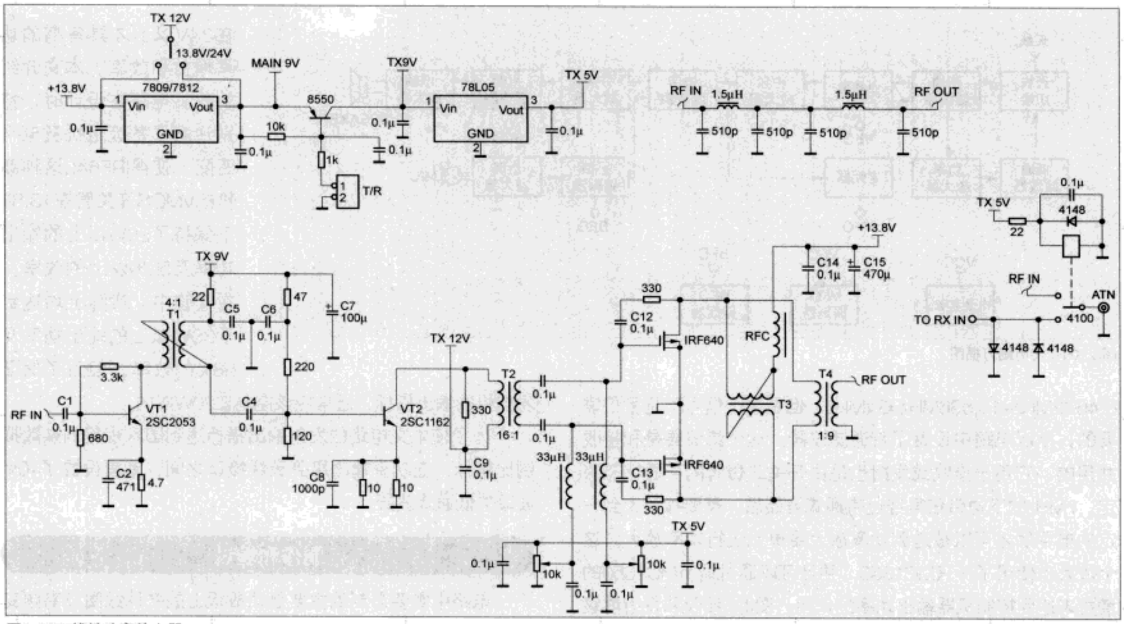


图2 25W线性功率放大器

到的信号经过收发选择开关进入中心频率为7.050MHz的带通滤波器（BPF），带通滤波器滤除掉各种干扰信号，把接收信号送入由UPC1037H组成的平衡混频器进行变频处理。同时送入变频器的还有本机振荡器产生的本振信号。本振信号由三极管9018和15.536MHz石英晶体组成的电容三点式可变晶体振荡器（VFO）产生（它同时也为发射单元提供本振频率），它将和8.465MHz中频信号配合进行40m业余波段信号的接收和发射。接收信号和本振信号在混频器中进行混频，在混频器中本振频率对接收频率相减后产生8.465MHz中频信号。MC1350（MC1350是美国摩托罗拉公司设计的一款原用于电视机中频放大器的中频放大集成电路，它的外围电路很简单，而且具有增益控制功能）组成第一级中频放大器，它把混频器产生的中频信号进行第一次放大，然后送入由8只晶体组成的梯形晶体边带滤波器进行边带选择。第二级中频放大器也是由MC1350组成，它将和第一级中频放大器共同产生100dB以上的中频增益，以为接收电路提供足够的灵敏度。单边带解调电路由UPC1037组成，它负责将中频信号转换成音频输出，这里需要有一个拍频振荡器（BFO）与它配合工作。而这个拍频由三极管9018和8.4672MHz石英晶体组成，它同时也为发射电路提供拍频信号。单边带解调电路把音频信号解调出来以后，被TDA2822的一个声道放大到一定的功率，由扬声器发出声音。

发射电路基本上是接收电路的反过程。当我们对着话筒说话时，会产生一个比较微弱的音频信号，这个语音信号通过TDA2822的一个声道进行放大，输出一个相对较强的音频。这里UPC1037组成平衡调制器，它把拍频振荡器和音频信号混频产生一个双边带信号。晶体滤波器是收发共用的，它对收发信号通道的选择取决于开关二极管的导通状态。双边带信号通过晶体滤波器后只剩下一个边带，在这个设计中，晶体滤波器滤除了下边带信号，而使上边带信号通过晶体滤波器并进入下一次变频。这个设计中采用高本振，即本振频率减去中频得到工作频率。

在本文介绍的设计中，采用的是高本振的设计，按照“频谱倒置”的原则，如果我们要在40m业余波段使用下边带模式，那么中频信号就必须是上边带。明白了这个原理，在后面的调试中，我们就能少走很多弯路。

变频级完成的工作是最终使我们的发射机工作在40m业余波段内，它把分别来自于晶体滤波器的中频上边带信号和本机振荡器产生的15.536MHz信号混频产生7MHz的下边带信号。事实上混频器输出的信号还有一个

“频谱倒置”的原理

如果*工作频率=本振－中频*，那么工作频率的边带特性将和中频相反，如果工作频率=本振+中频，那么工作频率的边带特性将和中频相同。

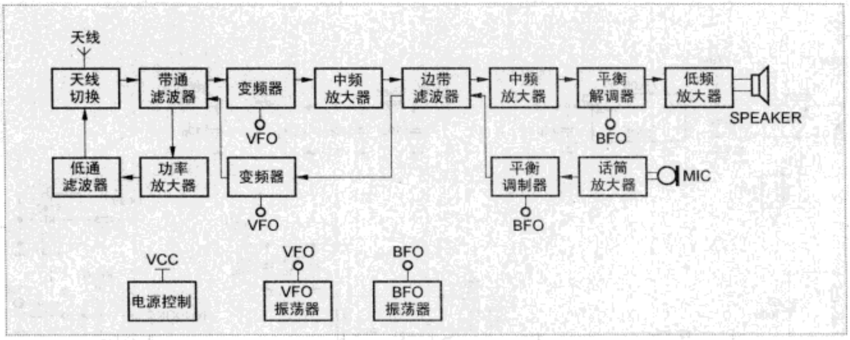


图3 KN-710电路方框图

8.4672MHz+15.536MHz=24MHz，但是这个信号不是我们需要的，所以电路中设置了带通滤波器。这个滤波器是和接收共用的，它用于接收或发射也是由开关二极管的导通状态决定。7MHz的下边带信号经过带通滤波器后，需要被放大到一定的电平后才可以被送到功率放大器单元进行功率放大。这个放大也使用了一只MC1350，并且可以通过调节MC1350的增益来达到控制机器输出功率的作用。图4是接收和发射前级单元的PCB。

在这个电路的功率放大器单元（见图5）在前面的连载文章中已经介绍了一些，这里我们主要关注一下采用VMOS场效应管的推挽放大末级。

2SC2053组成甲类小信号放大器，这一级输出100mW左右的功率，然后送到2SC1162组成的推动级，这一级工作在甲乙类状态，静态电流大约在300mA，输出1W左右的功率。KN710的功率输出级采用了普通VMOS功率管IRF640，它具有功率增益高，杂散电平低以及输出功率大的优点。但是VMOS管的缺点也很明显，比如IMD指标不容易做得高，尤其在大功率输出的时候更为突出。工作电压要求高，通常要求在24V以上才具备高的功率增益和效率。本文介绍的收发电路在设计时，特别注意了各级阻抗及电平匹配，使得IRF640这种廉价的VMOS开关管在13.8V下保持了20W以上的输出功率及50%以上的效率。在实验中，实际上均达到了30W以上的输出功率及58%的效率。但为了保证发射机的输出指标，通常应该控制在20W以内。

为了使本文电路的发射输出指标达到国家规定的杂散抑制比指标，在功率输出级到天线接口之间，笔者设置了40m波段的低通滤波器。

制作和调试

电路中需要自制的主要是功放板上的各种线圈及高频变压器：

功放低通滤波器1.5μH电感线圈：用0.7mm高强度漆包线在两只NXO-10磁环上均匀绕制8圈。

T1：阻抗比4:1。用线径0.27mm的漆包线绕制。取2段15cm长的漆包线双线绞合成麻花状，然后取2粒小磁珠并列（用热缩管紧固一下以方便绕制），在上面穿绕4~5匝，头尾串接作为中心抽头。

T2：阻抗比16:1。取4粒小磁珠并列（同样用热缩管紧固一下以方便绕制），用0.27漆包线穿绕4匝作为初级，再从另外一侧穿绕1匝作为次级。

T3：平衡供电变压器。取MXO-2000磁环，用0.7mm

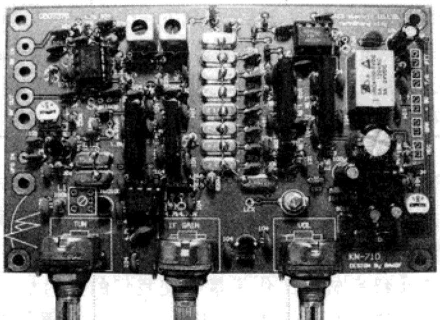


图4 接收和发射前级单元PCB

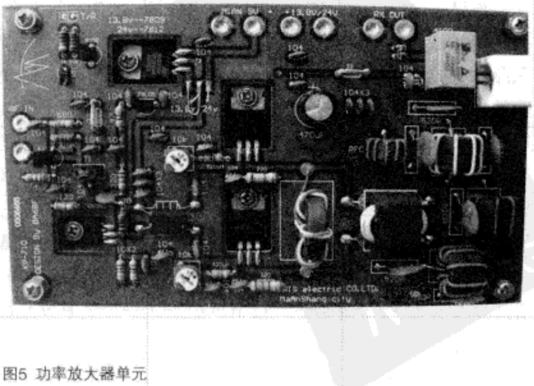


图5 功率放大器单元

高强度漆包线均匀绞合双线并绕3~4圈，首尾相接作为中心抽头。

T4：阻抗比1:4。取NXO-100大磁环，用1mm高强度漆包线绕制。初级2圈，次级4圈。

RFC用双绞线在MXO-2000磁环上均匀绕3圈。

上述几个线圈及高频变压器的照片参看图6。

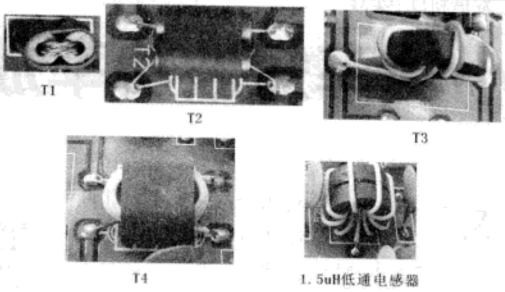


图6 线圈及高频变压器

电路调试方法

在给机器通电之前请进行以下准备：

1. 一台带限流保护的13.8V/2A稳压电源，此电源在负载电流超过2A时应能可靠地切断电力供给。

2. 一台13.8V/10A的稳压电源，不推荐使用开关电源。

3. 一个具有良好特性的50Ω假负载或一副SWR在1.5:1以下的垂直天线。

4. 一台具有10A挡位的数字万用表。

5. 一台精度在10Hz以下的频率计或可以做频率测量的其他仪器。

确定所有元件和焊接都无误，才可以给机器通电。在调试过程中一定要使用带限流保护的13.8V/2A稳压电源！而且要始终把数字万用表串接在电源回路里，要随时观察电路里的电流，以防出现异常情况。

1. 把主板上3个电位器全部逆时针旋到底，然后给电路通上13.8V的稳定的电压。正常情况下，整机静态电流应该在70~90mA。如果此电流超过100mA，请立即切断电源检查电路连接和重新检查焊接和元件是否安装错误。

2. 把频率计接在IC6的第7脚，调整半可变电容，使频率计显示BFO振荡频率为8.4655MHz（此频率可以在8.4650~8.4660MHz做微调，当频率升高时，电路的收发音色将变得温暖，当频率下降时音色则会变得冷峻）。

3. 把频率计接在IC1的第7脚，调整中频变压器骨架的磁芯，使频率计的频率显示为15.5155MHz。这一步是为了确定机器的工作频率范围。

4. 把主板的IF增益和音量电位器都旋到顺时针最大位置，如果此时机器接的是正式的天线，扬声器里将会出现较大的天电噪声，如果此时频率上有业余电台工作，应该可以听到清晰的语音。用平头改椎微调输入回路中的两个DIY的中频变压器，使得噪声或收到的电台语音最大、最清晰。

5. 此时，调节中放增益电位器和音量电位器应该可以很明显地感受到机器的灵敏度及音量在变化。

如果通过了上述5项调试，那么恭喜你，你的这个电路的接收以及发射前级已经完成了。

事实上这个电路的调试时间主要花在主板上，功放板调整其实很简单。

1. 功放的输出接上假负载或天线，切记不要使功放输出空载。因为一旦发生自激或别的什么情况，放大器有个负载，多数时候都可以保护功放管的安全。

2. 调试的时候，供电电源一定要具有2A以下的限流功能，如果没有带限流功能的电源，至少也要在电源回路中串联一个12V/20~30W的灯泡。

3. 在电源回路中串联数字万用表后，就可以开始进行功放管的静态电流的调整了。

4. 先不接主板和功放的任何连线。

5. 把功放板上的T/R用电线短路，再把功放管旁边的两个可调电阻顺时针旋到底。

6. 通电，此时功放板的整机静态电流应该在500mA左右，如果相差太多，应该立刻切断电源检查焊接及元件有没有问题。

7. 先调整一个可变电阻，使整机静态电流上升60mA；再调整另一个可变电阻，使整机静态电流再上升60mA。此时功放整机的静态电流应该在620mA。

8. 把功放板上的可变电阻用漆固定后，功放板的调试到此结束。

本文介绍的电路是一款简单的单边带收发信机设计，它可以很好地工作在初学者经常使用的40m业余波段。如果给它做一个漂亮的机箱，那么就可以放在桌子上每天用它来跟各地的火腿朋友进行交流。这是一件很过瘾的事情，尤其是用这种爱好者亲自动手制作的机器来完成这件事情。

当然，从本期开始我们介绍的制作都具备了实效发射能力。所以在读者准备动手之前，还是要熟悉国家有关无线电管理的法律法规。如果不具备短波发射资格，那么我本人给的建议是——只调试接收。如果对发射电路非常感兴趣，那么不妨在发射机的输出端接上一个假负载，这样就可以避免违规发射。总之，短波无线电发射活动需要严格的遵守国家的无线电管理法规。而任何一种无照无证的违规发射活动，作为一个业余无线电爱好者都应该避免发生。

收发信机DIY实战

◎时刻（BA6BF）

小功率短波功率放大器

本期，我按捺不住地想和大家分享这个小功率短波线性功率放大器。这个电路的原型是福建无线电运动协会在 1996 年前后组织的单边带收发信机组件中的功率放大器，我有幸在大学 2 年级的时候得到过一块，后来经过一些元件的代换和改进，这个电路及衍生电路被用在了多款笔者设计的收发信机上。虽然是 10 多年前的电路，但确实值得我们去重温。笔者设计的这款线性功率放大器的电路板，提供给许多爱好者实验。这个电路工作得相当出色，安装起来也十分容易。从电路图上可以看出，这个功放由三级放大器组成，如图 1 所示。

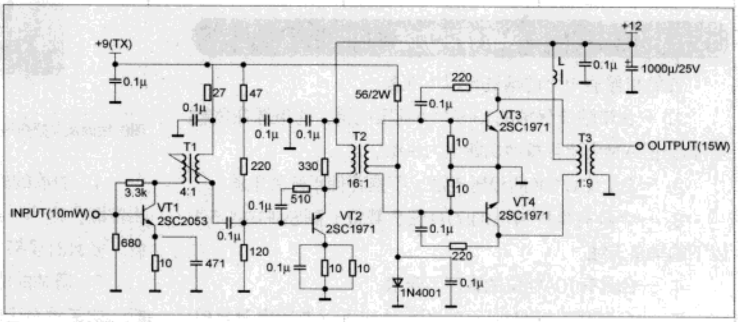


图1 15W线性放大器

电路分析

VT1（2SC2053）组成甲类小功率前置放大器，它的输入功率要求 1~10mW，而输出功率在50mW左右。它的供电由PTT控制的9V提供，电流在30mA。2SC2053是一只中功率VHF发射管，它被广泛地用作V段对讲机的功率推动和短波功率放大器的前级，它的特性非常好，可惜似乎现在已经停产了。不过代用品也不难找到，比如2SC3357就可以很好地代换它。只是2SC3357是SMD封装形式，在安装上要稍微改一下。这级电路输出采用4:1的传输线变压器T1，它为下一级单管甲类功率推动级提供低阻抗的激励。

VT2（2SC1971）也工作于甲类放大状态，偏置电路给三极管提供了强劲的静态电流，使得三极管的集电极静态电流达到了 300mA。这一级将为末级功放管提供至少 1W 的激励功率，而三极管本身也将消耗掉 2W 以上的功率。这是甲类放大器的缺点，也是没办法的事情，我们需要它尽可能无失真并且高增益地放大前级送来的微功率，也只能忍受它的低效率。这一级的发热量很大，所以一定要把管子紧密固定在散热器上，并在管子和散热器之间用导热硅脂均匀涂抹。否则，即使没有输入功率，这个管子也将很快发热并烧毁。从这一级开始，放大管开始设置交流负反馈电路。

在这里，510Ω电阻和104电容组成交流负反馈，它可以稳定放大管的交流输入阻抗，并消除这一级有可能

图2 笔者设计的双面板15W线性放大器实物

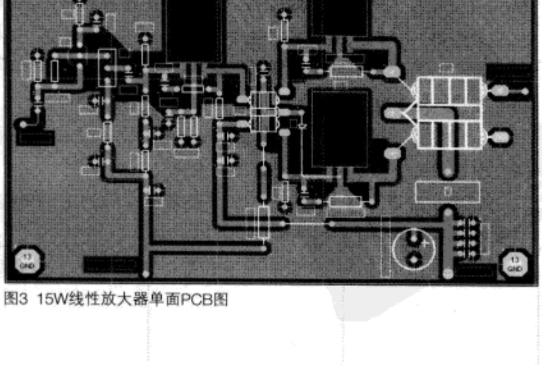


图3 15W线性放大器单面PCB图

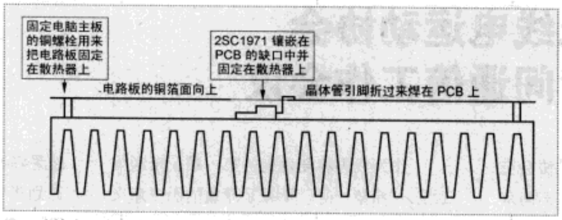


图4 功放表面安装方式

出现的自激。在T2的初级绕组上并联一只330Ω的电阻是为了降低VT2的负载*Q*值，这样做可以展宽放大器的工作频带，并大大增加放大器的稳定性。而放大器的电感负载*Q*值太高，通常会引起放大器的自激，这也是甲类宽带放大器比较容易出现的问题。在安装的过程中要注意，在VT2的散热片和散热器之间一定要垫一个云母绝缘片，因为VT2的发射极对地有一个直流负反馈电阻，它起到了稳定VT2工作点的作用。2SC1971的散热片是发射极，所以如果散热片被直接接地了，那么就会使发射极负反馈电阻被短路。而VT2的功耗相当大，所以VT2将很快陷入“发热-静态电流上升-发热更大-静态电流更大”这样的恶性循环，最终VT2将因为过热而烧毁。

推挽功率输出级由两只2SC1971组成（VT3、VT4），它们工作在甲乙类状态，静态电流设置在50mA左右。输出级由于功率大，所以一般不采用设置发射极电流负反馈电阻的方式来稳定功放管的工作点。因为功率输出级的任务是在指标设计范围内尽可能地提高输出功率，而发射极电阻会在一定程度上影响功率输出。为了稳定功率管的工作点，在输出功率相对较大的线性功率输出级的偏置电路中，通常采用温度补偿电路来稳定。复杂一点的温度补偿电路可以由温敏电阻配合运算放大器来完成，但也可以采用很简单的方式。比如这个电路中，二极管（1N4001）直接焊在VT3、VT4的发射极上，这样功率管的管芯有任何温度上升，都将使二极管的PN结温度也跟着上升。而二极管的PN结温度和它的电压降则成反比，即二极管的温度越高，它上面的电压就越低。当我们把二极管上的电压作为功率管的偏置时，它们之间就形成了一种温度负反馈的关系。我们只要把这种奇妙的平衡点建立在功放管静态电流在50mA左右的地方，那么这两只功放管就将得以安全地工作。但是任何温度补偿电路都有一定的限度，超过这个限度就不能保证功放管处在正确的偏置点。所以，绝不能认为采用了温度补偿电路以后，就可以忽略散热器的作用。事实上，功率输出级在正常输出功率的状态下，本身的发热量是非常大的。如果不能及时的将功率管产生的热量散发掉，那么功率管在工作时产生的高温将使温度补偿二极管进入饱和状态，此时功率管仍会处于危险的境地。

图3中给出了这个电路的PCB图，为了让自制起来比较容易，笔者在设计上采用了直角线条。虽然从高频特性的角度来说可能并不太理想，但是实际效果却也可以得到保证。

制作过程

高频大功率电路的安装不同于音频电路。一来要求足够大的散热面积，二来高频稳定性对功放的正常工作至关重要。2SC1971的安装位置需要在PCB上开出合适的方孔，然后把功率管镶嵌进方孔并固定在散热器上。电路板的大小和散热器的面积大致一样，电路板铜箔面向上，所有的元件均安装在铜箔面，即所谓表面安装。电路板的4个脚均开有固定螺丝孔，用5mm长的铜螺栓把电路板固定在散热器上，并且电路板的接地和散热器连在一起。与功率管垂直安装在电路板上的方式相比，这样做的好处在于：1.可以使用任意大面积的散热器；2.由于散热器本身是金属材料，它和电路板紧贴在一起，起到了良好的屏蔽作用，可以提高电路的高频稳定性。电路板和散热器的安装形式如图4所示。

在制作中需要自制的部件主要是T1、T2、T3和L。它们的制作数据分别是：

T1，取0.5mm的高强度漆包线双线均匀绞合后在NXO-100磁环上绕制5~6圈，首尾相接作为中心抽头。

T2，功放输入变压器：0.5mm高强度漆包线，初级4圈，次级2圈中心抽头，使用NXO-100双孔磁芯。

T3，功放输出变压器：0.5mm高强度漆包线，初级2圈中心抽头，次级3圈，使用NXO-100双孔磁芯。

L，高频扼流圈：用0.7mm高强度漆包线，在NXO-100磁环上均匀绕制16圈。

任何放大器都不可能无失真地进行放大。从频谱上看，放大器的输出除了基频以外，还存在着大量高次谐波。比如我们的功放工作在7MHz，那么在它的输出端不仅有我们需要的7MHz频率分量，而且在成倍数频点上还存在着输出功率。比如2次谐波在14MHz，3次谐波在21MHz，以此类推。如果把功放的功率输出直接用天线发射出去，

附表

元件	3.8MHz	7MHz	14MHz	21MHz	28MHz
L1、L2	2.8μH	1.2μH	0.7μH	0.5μH	0.36μH
C1、C2、C3、C4	820pF	470pF	270pF	150pF	120pF

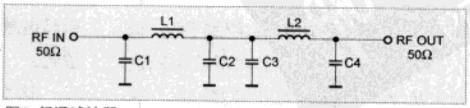
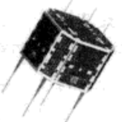


图5 低通滤波器



中国无线电运动协会召开空间通信工作会议

◎方明（BA6AA）

10月5—6日，中国无线电运动协会空间通信工作组工作会议在江苏南京举行。中国无线电运动协会副理事长吴维宏、副秘书长马惠敏，原副理事长樊绍民(BA1EO)，空间通信专业工作负责人龚万骢(BA1DU)，江苏省无线电和定向运动协会常务副主席张茂印等领导和来自北京、江苏、浙江、安徽、湖南、广东、广西等地的30余位骨干会员参加了会议。

会议代表参观江苏省无线电定向运动协会

作为我国将要发射的第一颗业余通信卫星，“希望一号”承载了厚重的历史意义和现实责任。它寄托着中国业余无线电爱好者们近百年来的飞天梦想，代表了中国业余无线电技术的发展已经与国际接轨，对于在青少年和无线电爱好者中普及空间通信及航天技术方面的知识具有十分积极和重要的意义。

会议重点讨论了针对“希望一号”应用的各项准备工作，以及当“希望一号”发射成功后，如何针对青少年学生举办专项科普活动。会议达成的目标事项有：

一、确定业余卫星工作委员会成员。龚万骢(BA1DU)、樊绍民（BA1EO）分别任主任委员、副主任委员，各省市分别落实了工作联络员名单；

二、建立中国业余卫星领域的宣传平台。立即开始建设中国业余卫星官方网站www.camsat.cn，作为青少年了解业余卫星及业余卫星通信以及爱好者之间互通信息的交互式门户网站，计划于10月31日正式上线运行。同时，为了更好地普及业余卫星通信知识，建立实用的业余卫星通信技术资料库，会议决定组织技术骨干，抓紧编印业余卫星通信科普手册。

三、开展青少年卫星通信全国知识竞赛。为配合“希望一号”的发射，普及航天技术和空间通信知识，拟组织进行面向全国青少年学生的知识竞赛。

四、在全国范围分类建立业余通信卫星活动基地。活动基地分为示范基地、活动基地和科普实验基地三种。

五、在全国范围内建立业余卫星监测站。监测站的工作内容为：监测业余卫星运行状态和指标（主要包括信标、信号强度、转发器工作状态、BBS内容、语音内容等），向工作组按时报告业余卫星工作情况，通过数据对比分析评判卫星工作状态。会议讨论并确立了首批共10座业余卫星监测站，要求各监测站抓紧建设，年底前能够确保正常运行并开始执行监测任务。

那么我们就有可能在7MHz以上每隔7 MHz的频点上造成干扰。毫无疑问，这是绝对不允许的。如果我们用这样的发射机拿到相关部门去办理执照，想象一下会是什么结果？

那怎么办呢？给这个功放板做个输出低通滤波器吧。低通滤波器，顾名思义，它的特性是只允许低于它的截止频率的信号通过，而阻止高于它的信号。图5中的电路就是低通滤波器，它由NXO-10磁环及云母电容组成5阶切比雪夫滤波器，按照附表的数据来制作很容易成功。

这款功放的功率增益相当高，输入10mW的时候，输出功率就可以达到15W以上。所以在安装好以后，输出端一定要接上假负载，并且要避免用手或螺丝刀碰触功放的输入端，否则会引起自激，严重的时候有可能会损坏功放管。

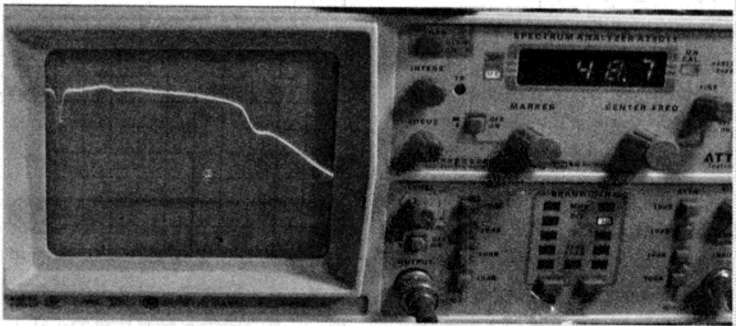


图6 功放板的测试曲线

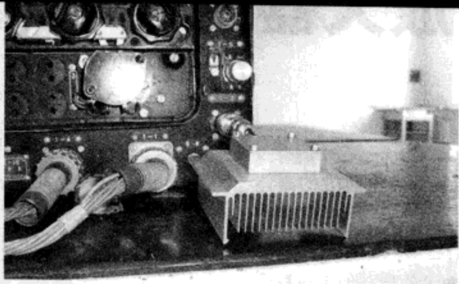
这个功放电路基本没有需要调整的地方，只要按照电路焊接就没有问题，注意一下推动管和功放管的安装方式，基本上都可以成功。笔者制作的这块功放板的测试曲线如图6所示。

五步制作电台假负载

◎徐建东（BG6BAT）

假负载是替代终端在某一电路（如放大器）或电器输出端口接收电功率的元器件、部件或装置，因此我们对假负载最基本的要求是阻抗匹配和所能承受的功率。火腿在调整和维修电台时要经常使用到电台假负裁(也称模拟天线)，为此，笔者制作了一款假负载,使用效果良好，制作简单，特介绍给大家。

假负载可以分为电阻负载、电感负载、容性负载等。制作高频发射电



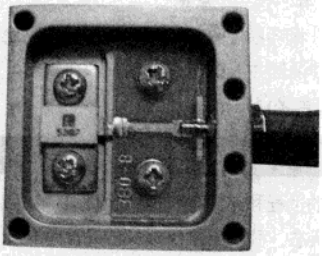
路假负载的要求主要是：频率允许，阻抗要匹配，并能承受发射的功率。

笔者制作的这款假负载是一款电阻负载，它用的是150W、50Ω微带电阻，见图1，其特性参数如下：

- 额定功率：150W（需配合适散热器）
- 标称阻值：50Ω
- 阻值公差：±2%
- 频率范围：DC~3GHz
- 驻波比：1.20:1
- 引线长度：6mm

制作步骤

第一步，将电阻焊入一屏蔽盒。

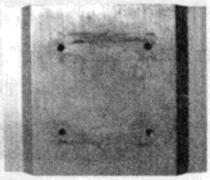


将电阻焊入屏蔽盒

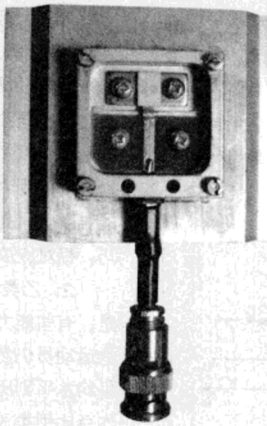
第二步，找一电脑CPU散热器，拆下风扇，只使用其铝散热片。

CPU散热器

第三步，按屏蔽盒的尺寸在散热片上开孔，攻丝。



第四步，在屏蔽盒与散热片接触部位涂上导热硅脂，然后拧上螺钉，将其固定连接好。



将屏蔽盒与散热片连接好

第五步，馈线接上射频接头。笔者接的是BNC头，电台有用M座，也有用N座的，使用时购买BNC-N和BNC-M转接头就可以了。

BNC头

至此，假负载制作完毕。

将这个自制的假负载用在超短波电台上非常方便。如用在短波电台上，因功率大，可将电阻改为250W的，或者用100Ω的电阻并联安装在一个大的散热片上较为安全，以防烧坏微带电阻。

注意：用电阻丝绕制的背釉电阻、水泥电阻不能使用，因其电感太大。自制假负载时，应尽可能缩短引线长度，并尽量不用转接头，以减少杂感，并加大功率承载能力。

说说晶体管放大器的“甲乙丙”

◎时刻（BA6BF）

众所周知，作为放大元件几乎找不到完全线性的晶体管，这是由半导体的特性决定的。

晶体三极管基极电流的变化会引起集电极电流更大幅度的变化，这才形成了晶体管的电流放大作用。但是在基极电流从零开始增加的时候，集电极电流的变化是很小的。当继续增加到一定值的时候，集电极电流才会表现出线性的变化。如图1所示的晶体三极管的静态特性简图中， A点表示基极电流（I_b）为0，此时对应的集电极电流（I_c）也为0，所以A点就是三极管的静态截止点。从图上可以看出A点到B点的线段是弯曲的，说明A点和B点之间的工作状态不是线性。从B点到C点之间基本呈现直线，此时晶体管的工作状态就是线性工作状态。C点以上晶体管开始进入饱和区，此时I_b再增加，I_c也不会再随着增加。从图1所示的三极管静态特性图上一般就可以区分放大器的工作状态了：

如果静态工作点比较低取在A点，则放大器工作在乙类状态。

静态工作点取在A点和B点之间，则放大器工作在甲乙类状态。

静态工作点比较高，取在B点和C点的中间位置，则放大器工作在甲类状态。

如果静态工作点取的是负值，也就是在A点以下，则放大器就处在CW和FM发射机经常用到的丙类放大状态了。

晶体三极管作为放大器的放大元件，它必须预设一个直流偏置才能工作，而基极预设的直流电流则把集电极电流确定下来，这就是通常说的晶体管的集电极静态电流。我们经常说起的甲类、乙类、丙类放大器实际上就是指晶体管集电极静态电流的相对大小。这里之所以用相对大小这个词，是因为不同功率的晶体管，对应着各种工作状态，集电极静态电流的大小是不同的。比如9018这种小功率管，集电极电流达到十几毫安可能就已经进入甲类状态了。而对于相对大点功率的管子，比如2SC1162，则要达到300mA以上才进入甲类状态。所以，所谓的甲类或乙类等工作状态，是需要针对不同的晶体管而定的，并不是一个常量。

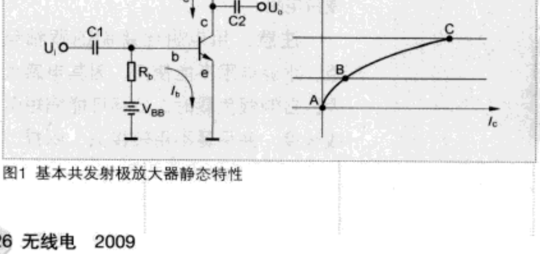


图1 基本共发射极放大器静态特性

纯粹的理论探讨，极容易使人感到疲劳，而我也完全明白，我们在这里聊这种话题并非是想在考试中获得高分，那不如索性用最通俗的语言来谈吧。

“跳高”与放大器的工作状态

如果用跳高比赛的过程和结果来作比，也许可以比较容易理解放大器各工作状态。我们用跳高横杆的高度来代表放大器的工作点（要注意，横杆高度和放大器的工作点是反比的），参加比赛的运动员代表输入的大大小小的信号，筛选出来的运动员水平代表着放大器的效率。

那么，我们开始比赛吧。

1. 甲类工作状态：现在的横杆高度和地面高度一样，所有的运动员都很轻松地跨了过去，当然了，总不至于有人走过横杆还会被拌倒吧？如果这样就结束了比赛，那么所有的运动员都将站在领奖台上，没有一个人会被拉下。全部运动员都向观众展示了领奖时的风采，这的确是一个皆大欢喜的结果。只是这时候比赛体现不出高水平运动员的力量和技巧，相对应放大器的效率就是比较低的状态。

2. 乙类工作状态：此时横杆高度升高到了1.5m，于是，有些能力不够的运动员开始败下阵来，但是有一半数量的运动员仍然轻松地跨过了横杆。领奖台上站着的运动员的平均水平则比前一种情况要高得多了，对应的乙类放大器工作点比甲类放大器更低些，这种工作状态效率就要比甲类要高些。

3. 丙类工作状态：横杆继续升高到2m，此时大部分运动员都会失败，只有极少数特别强的运动员跨过了横杆。比赛结束后站在领奖台上的运动员更少了，对应着放大器就是失真更大了，但是此时比赛结果的水平更高了，对应着放大器的效率也更高。

如果换个跳法，横杆高度还是2m，但是在横杆前放一个2m高的梯子，而这个梯子高度表示放大器的工作点。下面重新进行比赛吧。

1. 甲类工作状态，先把梯子放置最高处（放大器工作点在图1的B和C的中心点），此时所有的运动员都先爬上梯子，先达到和横杆一样的高度，然后轻松跳下。于是，所有的运动员都跳过了横杆，如愿以偿地站到了领奖台上。

在放大器中，如果工作点设置得比较低，则由于晶体管先天存在的“死区”，一些比较弱的信号就无法突破死区。为了提高放大器的线性，我们预先把晶体管的基极电位提高，这样放大器就可以离开“死区”的影响，而进入线性工作状态。也可以理解为输入的低电平信号叠加在一个直流电位上，从而可以顺利突破晶体管的非线性区。

甲类放大器由于预设的静态电流很大，即使没有信号输入，它本身也要消耗很大的能量，并转换成热量散发出去。而放大器的效率则是输出功率和输入功率的比值，所以从能量转换的角度来看，甲类放大器的电效率是比较低的。另外，从晶体管交流动态范围的角度分析，由于晶体管始终工作在线性区，所以放大器的不失真输出幅度将受到晶体管本身线性区范围的限制。从而决定了在甲类状态下工作的晶体管输出功率要相对乙类或丙类小得多。

2. 乙类工作状态：把梯子撤掉，然后重新进行比赛。由于相对高度达到了2m，那么有一半的运动员都没能跳过横杆，所以最后只有一半的运动员可以站到领奖台上接受观众的掌声。

乙类状态下，晶体管如果没有信号输出，那么晶体管本身就不消耗能量。并且乙类放大器只在半个信号周期内工作，而在另半个信号周期是截止的，所以它的电效率就要高于甲类放大器。当然，由于乙类工作状态起码有一半的时间工作在线性区，所以乙类放大器的电效率最高只能达到 78%，但是由于器件和制作的原因，通常只可以做到 60% 左右。

3. 丙类工作状态：在把梯子撤掉以后，然后在横杆前挖一个1m深的大坑，重新进行比赛吧。绝大多数运动员都没能从这个坑里跳过横杆，只有一个练过轻功的超人顺利跳过了3m高度。

丙类放大器的工作点相对于乙类更低些，晶体管更趋向于开关状态，晶体管截止的时间相对于信号周期更短些，在晶体管上消耗的能量比乙类小，所以丙类放大器的效率相对于乙类也更高些。

当然，还有一些特殊的放大器工作在丁类以下，不过在射频领域用得比较少，不在本文讨论的范围内。

说到这里，可能会有读者要问，既然乙类和丙类都是非线性放大器，那么它们作为放大器是严重失真的。它们是怎么克服失真的呢？这个问题比较复杂，如果从纯理论上作相关的说明，那这个短文的篇幅就显得比较小了。还是用通俗的语言来粗浅聊聊吧。

失真问题的产生与补救

先说失真的问题。一个正弦波进入一个放大器进行放大，放大后的输出波形不可能完全和输入波形一致，这就是失真的表现形式。而最极端的失真是输入的是正弦波，而输出的却是方波，除了频率相同以外，在波形上二者几乎没有相同的地方。波形是时域的表现，也就是说对应时刻，电平幅度的变化。从时域的角度看，输入和输出波形完全不同。比如乙类放大器，它只放大一个波形的半个周期，乙类放大器的输出波形的半个周期是缺失的。那么，我们只要把这缺失的半个周期补上，就可以得到完整的正弦波。图2所示的是双管推挽放大电路的信号图示，两只管子均工作在非线性状态，它们各自负责放大一个完整波形的正、负半个周期。输入变压器T1的次级有一个接地的中心抽头，在音频信号输入时，T1次级两个大小相等、极性相反的信号分别送到VT1和VT2的基极。在输入信号的正半周时间里，VT2管因加的是反向偏压而截止，只有VT1能将信号放大，从集电极输出，而在信号负半周，VT2得到正高偏压，能将这半个周期的信号放大输出，而VT1却截止。电路中的两只三极管虽然各自只放大了信号的半个周期，但它们的输出电流是分先后通过输出变压器T2的，所以在T2的次级得到的感应电流又能恢复成一个完整的输出信号。双管推挽放大器可以充分利用晶体管的功率特性，所以相对而言，对于同样输出功率的放大器，双管推

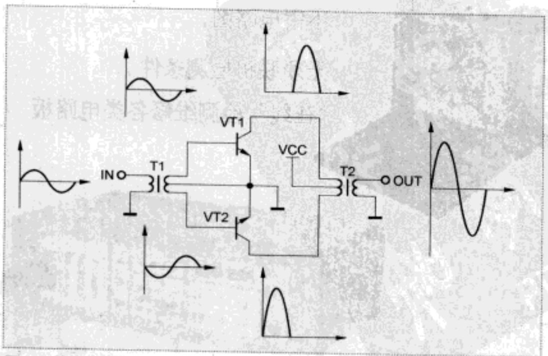


图2 双管推挽放大器

挽电路对晶体管的集电极耗散功率的要求就要比单管电路小得多。但是，对于QRP场合，单管丙类或乙类放大器由于电路简单并且安装容易，也受到了许多爱好者的喜爱。单管电路处于丙类或乙类放大状态时同样也存在着补上缺失的那半个周期波形的问题，在电路上经常使用的是用性能良好的谐振回路作为单管放大器的负载。这样，利用射频的谐振特性自动使不能通过的那半个周期在输出电路中通过谐振产生，使输出的信号仍是不失真的射频信号，犹如飞轮的惯性在发动机中的作用一样。所以，有人把这种工作原理又形象地称为射频放大电路中的“飞轮效应”。

当然，从很多角度都可以解释这些现象和原理，教科书上说的并非就是唯一的答案，因为科学就是用不同的假设去解释现象。所以，我们也同样可以换一种说法去谈单管乙类或丙类放大器如何产生不失真的等幅高频信号。

前面我们是从时域的角度去谈补上由于晶体管导通角的影响而产生的半个波形周期的缺失，如果从频域的角度去谈，则是另外一种说法。而无论哪种说法，都可以解释这些电路可以工作的原因。频域是频率在频谱上的排列关系，它只跟频率分量有关，动态信号从时间域变换到频率域主要通过傅立叶级数和傅立叶变换实现。作为 DIY 爱好者，我们一般没必要去研究这些冗长难懂的数学问题，那只会给我们造成更多的困惑。复杂问题需要简单化，为什么不呢？

前面我们说过了，放大器极端的失真情况是输入正弦波，而输出的却是方波。而用傅里叶变换得到的结果是方波由基础频率和无穷多次的谐波频率分量共同组成，这和阳光颜色是由无数种颜色共同组成的一样。当我们把这些谐波滤除掉，那么我们就得到了纯净的基础频率，而频率分量越纯净，则波形就越趋向于正弦波。于是，我们就得到了一个解决办法，那就是把放大器的输出信号进行有效滤波。单管乙类或丙类放大器一般用于窄带情况，并配置和工作频率相同的谐振回路，就是基于这个原理。

甲类放大器由于失真小、效率低，所以通常用于发射机的电压放大器和功率推动级，这样可以大大简化机器的设计。

乙类放大器由于可以使用双管推挽工作得到基本不失真的输出功率，而且具有高效率，所以通常被大量用来做各种晶体管发射机的功率输出级。

丙类放大器失真大，效率极高，但由于其输出部分需要Q值很高的谐振回路做输出，而Q值越高的谐振回路，其工作容许频段就越窄，所以通常丙类放大器都用于窄带的CW或FM通信模式。

汇能® 电路在线维修测试仪

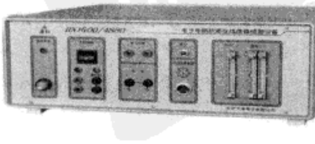
ISO9001：2000 国际质量体系认证
注册号：01106010079R2S

祝贺
汇能 HN2600、HN1600
新系列产品全线推出！

新系列主要新增功能
数字逻辑器件性能（直流参数）测试
模数／数模转换器功能测试
模拟电路故障追踪
混合电路用户自定义测试（UDT）
晶体管输出特性曲线测试
电路板图象建库测试
脚踏开关
……

不需电路图，
无须联机检测条件，
“在线”检测维修各类电路板

主要测试功能
ASA（VI）曲线分析测试
数字逻辑器件功能测试
运算放大器功能测试
光耦主要直流参数测试
存储器功能测试
电路板开、短路测试
……



北京天惠维测电子有限公司
上海天惠电子有限公司
地址：北京市海淀区中关村南大街魏公村街 1 号韦伯豪 2#-1-304
电话：010-88570741 88570742 88571124
传真：010-88571124 邮编：100081
http://www.hntest.com
E-mail: sales@hntest.com

专业对讲机也能体验业余数字通信的乐趣

◎杨法（BD4AAF）

MOTOTRBO XiR P8268 使用体验

随着科技的发展，很多传统模拟量的设备都开始向数字化发展，用于公众个人通信的移动电话在八九年前已经完成“模转数”，彻底淘汰了模拟网络。作为主要面向行业用户和业余无线电爱好者群体的对讲机通信正在步入数字化的时代，数字通信不仅是专业通信行业的热点，也是目前业余通信市场的热点。目前世界上主流的数字对讲机标准有欧洲的TETRA、美国的Project 25 (APCO-25或简称P25)、MOTOROLA公司的IDEN、ASTRO、MOTOTRBO，KENWOOD公司的NEXEDGE、业余电台的D-STAR、中国的GoTa等。其中TETRA、IDEN、GoTa数字集群定位于政府级大网络，广泛应用于公共安全、机场、铁路、港口码头等重要部门。Project 25主要用于美国公共安全和军事。ASTRO是MOTOROLA公司开发的数字通信模式，既可以建大网，也可以用于小型商务通信，其中ASTRO25兼容P25。MOTOTRBO是MOTOROLA近年来针对商用市场推出的数字化通信新产品。

目前主流的数字对讲机 TETRA 和 IDEN 功能强大，也有很好的安全性，只是建网费用巨大，非一般中小公司和单位所能承受。如果不建网的话，由于 TETRA 的 DMO 模式属于应急的小范围通信，在没有专用中继的情况下很难保证区域通信的需要，还没有传统模拟对讲机好用。本文将以 XiR P8268 对讲机为例，让读者了解一下，用专业通信对讲机如何体验业余数字通信的乐趣。

MOTOTRBO XiR P8268与业余电台

XiR P8268 对讲机是 MOTOROLA 公司 MOTOTRBO 系列对讲机中有代表性的手持对讲机。绝大部分的 MOTOTRBO 设备都是模拟、数字两用的，很容易移植到现有的模拟常规无线电网络中，实现向数字化的逐步过渡。MOTOTRBO 设备无需大型网络支持，也能让使用者享受到众多数字化设备的新特性。

业余电台爱好者中有不少 MOTOROLA 品牌的 FANS，在他们心中 Motorola 通信设备就是专业的代名词。有些 HAM 通过改造对讲机来使用原本并没有考虑为业余电台频段使用的 MOTOROLA 对讲机。而这款 P8268 的不少特性正好符合业余电台用户的需要。

笔者认为业余电台使用的对讲机需要具备以下特性：

设备必须覆盖业余频段，这是对讲机能够有效工作的前提。有些专业对讲机是通过扩频改造后才支持业余频率的，很可能由于改造技术不到家，而使设备在性能上打折扣，所以原厂设计频率就覆盖业余频段的机器更有保障。

设备最好提供信号强度指示功能，以便HAM可以提供真实可靠的信号报告。在业余电台一次成功有效的QSO通联中，双方的信号报告是必不可少的内容。对于HAM来说，通常比行业用户更关心信号报告。

设备最好提供手动设置频率和频率搜索功能。业余电台爱好者使用的频率往往具有不确定性，时常会需要搜索整个业余频段来寻找通信对象，所以对讲机最好具备频率面板直接输入功能，并且频率直观显示在显示屏上。

以此标准来衡量，P8268 其达到了其中大部分的要求。首先 P8268 原厂设计的 403~470MHz/136~174MHz 完全覆盖 430~440MHz/144~148MHz 业余频段，无需改机 (P8268 并非双频段机型)。其次 P8268 在液晶显示屏左上角提供了类似移动电话手机上的信号强度表指示，虽然指示细致程度不能与专门为业余电台设计的对讲机媲美，但还是非常实用的，

在专业对讲机中提供信号强度表的对讲机实不多见。再次，P8268 为专业通信设计，因此考虑到一些地区的规定，而没有提供频率面板设置功能，需要通过编程软件来预设频率，但该机器提供了 160 个可编程信道，用户可以将常用的频道事先编入，多少可以弥补不能直接设置频率的缺点。P8268的每个频道都可以用字符来自定义显示内容，所以 HAM 用户完全可以用频率数字直接命名这些频道，实现“伪频率显示”。

总的来说，在笔者使用过的众多MOTOROLA对讲机中，在功能和适用性方面，除了GP68(其衍生业余机型号AP73)外，P8268和GP338是并列最适合HAM使用的MOTOROLA对讲机。

P8268作为业余电台设备使用，目前主要应用其常规模式进行通信，使用起来与使用著名的GP338差不多。P8268的数字功能可以成为其炫耀的亮点。由于P8268的数字模式一般常规模拟对讲机无法接收解调，所以喜欢与众不同的HAM就能在人前“牛”上一把。“人无我有，人有我新”可能是很多HAM的心理。

认识 MOTOTRBO XiR P8268

XiR P8268具备如下亮点：

★数字/模拟两用

★内置GPS

★IP57防水标准及美国军标

★TDMA数字模式

★通话安全性优势

P8268秉承MOTOROLA机器坚固耐用的优良传统，是一款“耐摔”的机器，达到美国军标。同时P8268也具备目前流行的全防水机构，达到国际IP57的标准，相当于可以潜入1m深的水中30min，有了这样的防水性能，实际应用时在大雨中直接使用，更是小菜一碟。

P8268面板自上而下分别为液晶显示区、功能键盘区、数字键盘区、MIC话筒、扬声器。

P8268采用一块约38mm×12mm的点阵单色液晶屏幕作为显示单元，看起来并不算大。

由于P8268具备众多需要显示屏配合的功能，如频道组的选择、菜单设定、短消息等，有了点阵液晶显示起来就方便得多。P8268通过加载中文字库还能显示汉字字符，包括所有菜单设置和频道命名都可以用中文显示。

P8268 键盘采用胶质黑色键盘，字符为白色可以透过背光，背光呈醒目的绿色，所以在黑暗环境中操作也非常容易。键盘区位于机器面板的中部，单手操作与编写短消息都比较方便。

P8268的MIC话筒设计位于机器面板数字键盘区的下方，整体偏下，而扬声器设计在机身的底部。这样设计在过去的专业对讲机中不多见，而当你实际操作起来就知道其好处了。由于这样的设计，使用者在对讲的时候自然而然地会把对讲机举高，对着对讲机下部的MIC说话，这样，对讲机的天线会远离人的头部，这对信号的收发和减少射频电波对人体头部的影响都有很大好处。

P8268顶部设计有音量电位器、频道旋钮、橙色应急按键、状态指示灯和天线。P8268支持160个信道，顶部的旋钮为16挡编码器，用户通过编程软件可以设置多个频道组，每个组最多有16个信道。这样首先通过菜单选择频道组，然后再通过顶部旋钮选择具体的频道，这与GP338的频道管理方式类似。P8268天线采用标准的SMA接口，不过由于P8268的原装天线中包含有GPS接收天线，所以基本没有可代用的国产天线，除非用户不需要用到GPS功能。

P8268 的右侧为多功能连接器，连接外部耳机、话筒、肩咪、天线，写频编程也都通过这排接口。该接口类似GP338 的触点样式，同时也多出了外部天线射频端口，但与GP338 和 GP338Plus 接口不兼容，P8268 的所有扩展附件（包括电池）都是 MOTOTRBO 专用的。触点式的连接器要比传

P8268可显示中文的液晶显示屏

右侧多功能连接器

统耳机插口型连接器可靠得多，而且水密性也要好得多。在MOTOROLA 的高端机器上，如 SABER、HT1000、XTS 系列，早就使用了这类触点式的连接器。MOTOTRBO 的附件非常丰富，包括有具备遥控或者延伸天线功能的肩咪等。

P8268整体为前机后电板的传统设计，与常见的GP88类似，这样可以按照不同的使用需求配用容量不同、厚薄不同的电池。P8268使用的电池为IMPRES智能锂电池，配合专用的充电器可以使电池寿命最大化。对于专业用户来说，通过专用的充电器甚至可以显示电池当前的容量状况，以帮助使用者判断是否应该更新电池和更准确地预估电池使用时间。

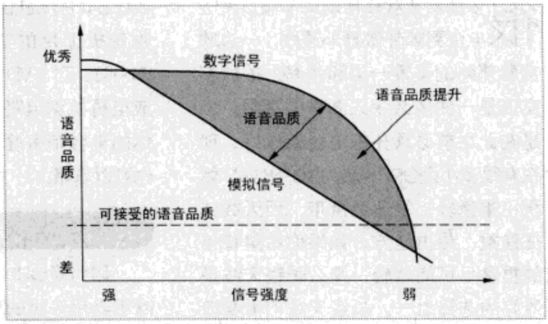
P8268 400MHz频段的机器输出功率为4W，与普通GP338之类专业对讲机功率相当，面板上可以通过自定义按钮或者在菜单中选择设定大小功率。P8268原配为较长的天线，收发效率都不错。天线内置有GPS信号接收天线功能，所以略显粗些，GPS接收解调芯片位于机器主板上。软件较高版本的机器可以显示收到GPS的定位数据，早期版本的机器无法查看，只有GPS是否锁定的标志。P8268与电脑连接的数据电缆直接是USB的，编程、升级、数据应用都通过数据电缆完成。

MOTOTRBO XiR P8268的数字特性

P8268 在模拟模式下使用，其功率输出、接收灵敏度、通信距离与普通对讲机（如 GP338 之类）没有大的区别，其最大的技术亮点是数字工作模式。

MOTOTRBO采用基于TDMA（时分多址）的数字调制模式，我们现在普遍使用的GSM电话也是使用TDMA。TDMA给我们带来的主要好处是节省频谱资源、减少发射能耗、提高通信安全。MOTOTRBO的数字模式可以在占用12.5kHz带宽的无线信道上，利用时隙技术达到同时进行2路通信的效果。这样，从频率利用率的角度看，相当于在原先传统模拟对讲机单信道，所用25kHz带宽上实现4路信道，频谱利用率提高了4倍。MOTOTRBO作为2:1时隙TDMA发射的形式，我们大致可以理解为，在整个发射过程中只有50%的时间是真正处于发射的，这样可以大大节省对讲机在发射时的耗电。按照MOTOROLA的官方说法，在数字模式下采用TDMA数字模式发射比传统对讲机FDMA(频分多址)模式可延长电池使用时间40%左右。有可能一块电池在模拟模式下可以工作9小时，在数字方式下就能提高到13小时。TDMA作为与FDMA不同的电波形式，普通对讲机和宽带接收机都无法有效接收TDMA的信号，一定程度上提高了通信保密性。

MOTOTRBO 的数字化调制可以为用户在大部分情况下提供比模拟信号更清晰的语音，尽管有效传输距离并不因为使用数字信号而有所增加，这是因为数字信号在传输时抗干扰能力优于模拟信号，并附之以纠错技术。大家都知道，模拟信号的录像带随着播放次数的增加，屏幕上的雪花点会逐渐增加，而采用数字存储技术的 DVD 即便略有划伤也不会出现屏幕雪花点逐渐增加的情况。模拟对讲机信号和数字对讲机信号也是一样，随着接收场强的衰落，数字传输信号比模拟传输信号话音清晰度劣化要缓慢得多。说到 P8268 的数字特性，除了它采用 4FSK 数字调制技术外，整个机器也是数字化设计，其内部不少信号处理环节单元由 DSP 处理器完成，与传统以纯射频硬件为主的对讲机线路有一些差别，倒与新型手机的设计有些类似了。在不增加硬件的前提下很多需要修正或者增加的功能只需要通过更新软件就能办到。国内销售的 P8268 就预加载了中文字库，使得其成为完全中文化的机型。

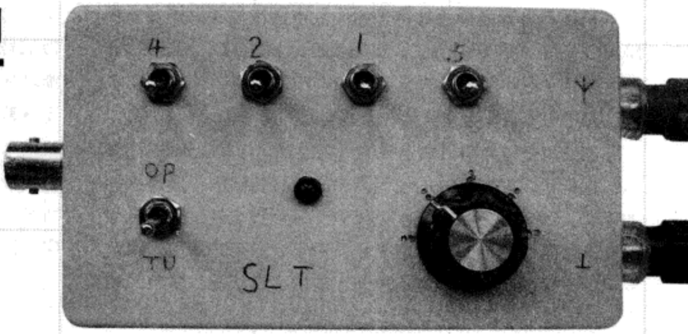


数字信号与模拟信号话音清晰度对比

HAM中喜欢玩APRS定位的朋友，P8268内置的GPS功能配合专用的软件可以让你感受一下专业定位的方便与乐趣，当然MOTOTRBO的定位功能不能直接用于业余的APRS。与业余电台机型不同的是P8268的接收和解调芯片真正位于机器内部，不像目前的业余对讲机所谓GPS功能大多数实际上都要靠通过外接话筒内的GPS接收模块来实现，P8268的GPS天线仅仅是天线而已，P8268在数字模式下玩GPS不用增加任何“插件”。最后提醒一下大家，MOTOTRBO的数字信号与业余电台主推的数字信号D-star是完全不兼容的（D-star属于FDMA）。目前，对讲机各数字信号标准间大部分是互相不兼容的。

注：XiR 系列是 Motorola MOTOTRBO 系列在国内行货销售的手持对讲机型号，其中 XiR P8268 是具备 GPS 定位的机型，还有不具备 GPS 功能的 XiR P8260，以及不具备显示屏的 XiR P8200 基本型。美版对应有 XPR6550、XPR6500、XPR6300，以及欧洲销售的 DP3601、DP3600、DP3400。市场上有出售早期试验报废的美版和欧版的拼装机，均不能使用国内软件编程和升级，早期的固件功能也比较少、中文菜单也不完善，选购时请注意鉴别。

自制QRP开关型长线天调



◎卜宪之（BD4RG）

很多朋友喜欢在周末或节假日带上电台到郊外做野外通联，一边欣赏着郊外的美景一边和频率上的朋友交流是一件多么令人高兴的事啊！但是在此之前必须先把电台架设好。现在有很多小型QRP电台（如FT817）体积小重量轻，很适合携带，但天线往往最重、最占地方。如果你希望背包的重量尽可能地轻，那么长线天线是最好的选择之一。长线天线不需要馈线，也不需要巴伦，只要将导线的一端甩到树枝上即可，当然还需要一个天调来调匹配。本文就是教你如何做一个简单的开关型长线天调。

原理

图1是开关型天调的原理图，其原理是：L1~L4组成可调电感，由开关SB1~SB4来控制电感的接入与否，电感按4位2进制可以组合出0~7.5μH，以0.5μH步进的值。可调电容C2是收音机上用的塑料双联中的一联。R1~R3、T1、VD1、VD2、R4和C1等组成电桥检测电路用于驻波检测，如果你的电台带有驻波检测功能，这部分也可以省略。

制作

因为是QRP天调，功率不大，所以可以用较小的磁环来绕制电感。可以用T37-2或T37-6的磁环，图中给出了T37-2的绕线匝数，如果是T37-6的磁环，匝数还要稍多一些。也可以用国产NXO-10材料的磁环，匝数根据试验确定。T1用FT37-43的磁环按图上匝数绕线，也可以用国产NXO-1000材料的磁环替代。

C2是半导体收音机用的2×270P的塑料双联之一。开关用普通钮子开关，其中SB5用双刀双掷开关，其他的用单刀开关。电阻R1~R3的功率必须用2W或以上的，R4用普通的1/4W的电阻。发光二极管VD2用于电桥的平衡指示，也可以用微安表代替，效果会更好，但体积更大。

这个天调用的元件体积都很小，可以装在一个很小的机壳里。金属的机壳当然最好，但如果没有工具加工就比较困难。我用了一个小塑料盒，不仅价格便宜，而且加工也很方便。用一块0.8mm厚的双面PCB搭焊，同时也可以起到一定的屏蔽作用。

制作好的天调的内部结构如图2所示。

使用

1. 长线天线的长度选择：要得到好的效果，天线应该尽量选长些，但在野外临时架设时对于爱好者来说天线长度越短越方便，所以在考虑天线的长度适当的同时，还要注意让天线长度避免接近所使用的频率的半波长以及半波长的整数倍。笔者将天线的长度选在了8.5m左右，这样，可以让天线工作在7MHz及7MHz以上的所有短波业余波段。如果只在14MHz以上工作，天线的长度为3~4m即可。

2. 地线：至少要用一根地线，地线长度是最低工作波长的1/4。如果有可能，最好每个工作波段至少配一根

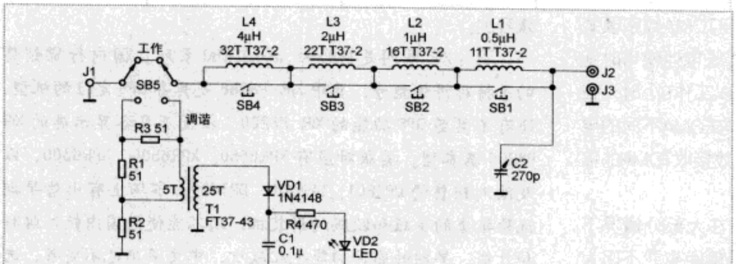


图1 开关型长线天线调谐器

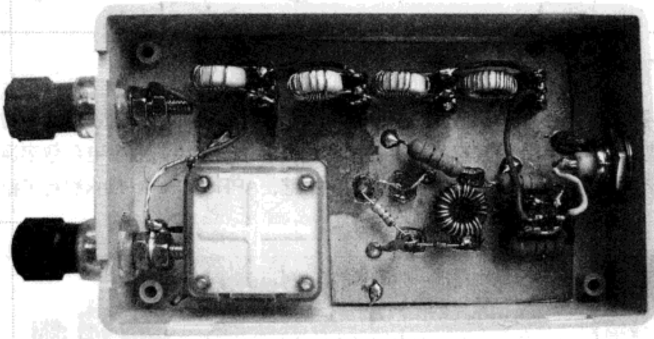


图2 自制天调的内部结构

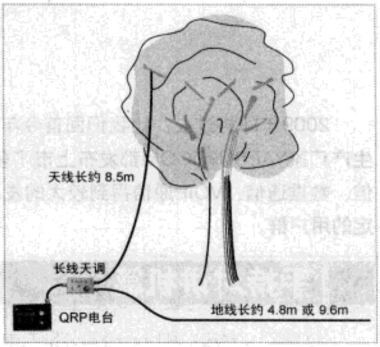


图3 天调与电台和天线的连接方式

1/4 波长的地线。地线平铺在地面即可。

3. 调节：按图3连接好电台、天调、地线后，就可以用接长线天调来调整匹配了。先将长线天调的工作/调谐开关SB5拨向调谐位置，将电台调到要工作的波段，按下电键或者在FM模式按下PTT，使输出功率在3~5W。先将可变电容C2调到中间位置，通过改变SB1~SB4的组合,改变电感量，找到发光二极管VD2最暗的位置.此时调节C2，看看能否找到发光二极管更暗或完全不亮的位置，发光二极管最暗的位置就是匹配最佳位置。可以通过改变开关组合稍微增加或减小一挡电感量，调节可变电容C2，找到一个最佳匹配组合。找到了最佳点后，就可以将工作/调谐开关S5拨向工作位置呼叫CQ了。注意：改变工作波段时要重新调整匹配。由于检测电路中电阻R1~R3的功率限制，调谐时功率最好在5W左右，最大别超过10W，但当调谐好、SB5拨向工作位置后,功率可以适当加大，最大到20W应该没有问题。

祝你通联愉快！

书讯

书号：21012　　定价：120元

◆全国各大书店及网上书店有售

◆读者也可汇款至《无线电》编辑部邮购（免邮费）

◇汇款地址：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》编辑部　邮编：100061

◇邮购电话：010-67134361

业余无线电丛书

《射频电路设计实战宝典》出版

《射频电路设计实战宝典》这本书是写给那些有强烈好奇心的业余无线电爱好者们的，它给业余无线电爱好者带来了专业的射频设计经验和丰富的案例，本书作者的目的是使读者在设计自己的设备时能节约更多的时间。

本书的第 1 章是作者们给初学者的一些规则和实验者的一些建议。第 2 章讲述放大器设计基础，内容包括放大器的基本概念、分类、特性、设计中需要考虑的问题和设计实例。滤波器是通信系统中主要功能块之一，它对于无线电实验者特别重要，滤波器决定系统的性能和设备的成本，因此作者在第 3 章重点讨论了滤波器和阻抗匹配电路的设计和实现。本书的第 4 章、第 5 章分别讨论了振荡器与频率合成、混频器和倍频器，这对于收发信机的设计和实现非常重要。第 6 章重点讲述发射机与接收器的设计和实现，书中的实际案例具有较高的参考价值。

测量和验证电路对于无线电爱好者而言是一项基本的工作，本书的第 7 章重点讲述了怎样利用一些基础测量设备进行测量，并给出了一些自己动手制作的测量设备电路。第 8 章和第 9 章讨论了采用直接变换和移相方法实现收发信机。第 10 章和第 11 章从较新颖的数字信号处理（DSP）技术角度讨论了模块和通信系统的实现，这部分内容以 ADI 公司的数字信号处理器为例，介绍了其开发工具和如何利用其数字信号处理器编程实现各种数字信号的处理，并将本书前面实现的部分电路模块采用 ADI 的 DSP 处理器来实现。

除业余无线电爱好者之外，本书对其他无线通信工程师和从事无线通信研究与应用的人员，尤其是系统工程师，也是一本难得的参考书。

2009业余电台

◎杨法（BD4AAF）

2009年即将过去，让我们回首今年业余电台器材的发展和市场情况。在2009年中，世界最大的两家业余电台器材生产厂家YAESU和ICOM都发布上市了多款新机型，以丰富和完整其产品线。在即将过去的这一年中，业余电台数字通信、数据通信、VOIP通信得到较大的发展，全国不少发达地区都架设了D-STAR数字中继，APRS和Echo-Link都有了稳定的用户群。

手持对讲机篇

2009年，YAESU和Icom公司分别在国内上市了其新款高端手持对讲机VX-8R和IC-92AD，分别取代了其上一代王牌产品VX-7R和IC-91AD。

YAESU公司的VX-8R以超薄、蓝牙、支持GPS/APRS作为新产品的亮点。使用随机标配薄电池的8R只有24.2mm厚，整体与一部较大的黑莓手机或PALM Treo移动电话相当，携带非常方便。如果配上微型天线，在很多公众场合，很少会有人将他与传统概念中笨头笨脑的对讲机联系起来。8R的蓝牙功能（需要购买安装专用的蓝牙模块）可以使用无线耳机话筒，由于8R所需的蓝牙耳机兼容大部分手机所使用的蓝牙耳机，所以用普通手机的蓝牙耳机作为监听耳机，非常隐蔽而且低调。8R的APRS功能（需要购买安装专用的GPS接收模块）在手机上实现了相关数据的显示，提升了APRS应用的乐趣。随着8R的上市，原先的7R并没有退市，7R以其更好的性价比和实用的功能依然热销。

Icom公司的IC-92AD作为IC-91AD的升级产品加强了防水特性，达到业余电台界著名VX-7R同样的IPX7级防水等级，同时也略微修改了机器的外形，使其更具有专业机的味道。IC-92AD在市场上最大的亮点依然是具备D-STAR和模拟F3E调频双模式。作为目前D-STAR数字双模手持机的旗舰，92AD在91AD的基础上加强了GPS传输的应用，92AD可以通过外置的GPS手咪，借助数字D-STAR传输模式传输GPS信息，实现数字化的APRS。随着92AD的上市，原先的91AD逐渐淡出我们的视线。为了推广新生的D-STAR数字模式，ICOM公司还推出了价格比较便宜的新款IC-80AD。80AD的外观很像91AD，也是U/V双频段的数模两用机型，不过它在同一时刻只能工作在一个频率通道上，就像大家熟悉的VX-6R和FT-7800那样，属于“双频单通道”，虽然档次打折，但提供了更好的性价比，属于实用型的机器。这对喜欢尝鲜D-STAR数字模式而又囊中羞涩的一部分HAM无疑是个好消息。出于一些原因，80AD目前在国内市场还很罕见，希望明年会看到它更多的身影。

VX-8R

IC-92AD

欧讯KG-UVDIP

2009年可谓是国产业余电台对讲机的“双频”年，国产双频对讲机成为本年度最大的技术看点。国产对讲机厂商经过多年的技术发展，在制造普通单频段对讲机方面已经有丰富的经验，与国外产品差距越来越小。2009年，国内对讲机制造企业推出了不少针对行业用户的新机型，但在业余电台单频段对讲机方面并无新锐推出。年前的LT-6100Plus依然是HAM公认的最好的国产对讲机，2009年推出的一些新品只是新瓶装旧酒，基本上只是给LT-6100Plus换了一套外衣而已。不过话说回来，LT-6100Plus功能上已经非常齐全了，包括宽工作频段、内置数字模拟亚音、高功率发射、内置FM收音机、锂电池等，这些功能与千元级的进口对讲机相比毫不逊色，从基本功能上看，升级的余地已经很小了。HAM所关心的国产“双频”机在2009年有不小的发展，从去年的“单频双显”到今年的“双频双通道”，在技术上还是有很大的飞跃。欧讯KG-UVD1P成为目前国内真正双频对讲机的代表作。尽管它与进口产品相比，在扫描速度和软件编制上还有明显差距，但相信国产对讲机能不断提高改进。我们的国货手机、国货笔记本都能直逼洋货，常规对讲机相信也会不落人后。目前，欧讯UVD1P对很多HAM来说已经是实用性很强的高性价比双频对讲机了。

热门器材年度回首

车载超短波机篇

车载台是有车一族最喜爱的通信装备，同时也是大部分HAM家用固定台的主力设备。2009年， YAESU推出的新款FT-7900R、ICOM推出的IC-880H、KENWOOD推出的 TM-V71A和TM-D710A都在大陆上市了。

在过去的几年中，YAESU公司的FT-7800R在业余电台界是公认的性价比最高的车载双段电台，从来没有哪个产品能挑战它的地位。树大招风，由于7800R的名气和实际销量，所以仿冒产品纷至沓来，从话筒到主机都有高仿产品，由于仿制程度颇高，大部分新手HAM都无法简单区分。因此，YAESU公司推出了新一代的FT-7900R。同时发布的还有两款144MHz单频段的FT-1900R和FT-2900R高功率机。

YAESU FT-7900R

FT-7900R的档次与7800R一样，都属于双频单通道的实用型车载台。FT-7900R的上市并没有给我们带来大的惊喜，基本可以理解为是7800R的改进版，只是稍微改了一下面板设计，绝大部分操作和设置与7800R一样。不过7900R作为新品，性能多少还是有提升的。从技术指标上看，7900R将7800R在UHF段的功率输出提高了5W，达到了V/U 50W/45W的水平，这对追求大功率的HAM是个好消息，要知道市场上最便宜的具备V/U双50W输出的IC-208H要比7800R和7900R贵得多。此外，YAESU公司的FT-8800R作为双频双通道电台依然凭借其不错的性价比颇受用户欢迎。

ICOM公司2009年在国内销售的主力机型依然是IC-2720H和IC-2820H。由于一些地区D-STAR数字中继的相继设立和数字模式应用的增多，IC-2820H尽管价高（一套加

ICOM IC-2820H

上选配数字/GPS模块的IC-2820H市价超过5500元），但销量还是节节攀升。不过IC-2820H的双频双通道接收、U/V双50W输出、大型点阵液晶显示、可升级数字D-STAR模式都是目前车载机最高的配置，软件编制得也很好，用过了就会喜欢上它。ICOM公司在2009年推出了新款的IC-880H，同IC-80AD一样，定位于实用的内置D-STAR数模两用机，属于IC-800H的升级版，同样是双频单通道设计，只是目前国内还没有开卖。

KENWOOD的业余电台车载机在沉寂一段时间后，再次以行货形式出现，目前主力销售的是TM-V71A和TM-D710A。KENWOOD作为业余电台设备的“老大哥”，所出品的精品不胜枚举，也拥有相当的老HAM“粉丝”。KENWOOD的产品奉行优质优价，性能上有保障。TM-V71A和TM-D710A都是双频、双接收通道、V/U双50W的顶级配置，都以直接支持与PC互联、直接支持Echo-link(无需第三方数据盒)为新亮点。作为旗舰级的TM-D710A，更是硬件级地支持当下时髦的APRS定位，而TM-V71A可以通过升级机头达到和D710A类似的性能，这种超前的设计理念在其他品牌的对讲机中还是非常少见的。

KENWOOD TM-D710A

短波机篇

随着科技的发展，越来越多的新技术应用于入门级产品，过去很多HAM心目中的中档机型在厂家产品中悄然成为入门级的产品。

在5000～6000元级别入门级短波机中，YAESU公司的FT-450AT成为2009年度HAM公认的最具性价比的纯短波机。FT-450AT内置天调、中频DSP、DSP降噪、FM的配置在入门级短波机中可以说是空前的，甚至8000元以下的短波机中，在配置上没有能与它叫板的产品。ICOM公司的IC-7200是2009年新上市的机型，也配备了中频DSP和DSP降噪技术，但与FT-450AT相比，没有内置天调，不支持FM模式，价格也比FT-450AT高近千元。但IC-7200最吸引眼球的地方在于它类似军用背负电台的外形设计，一对选件提手设计犹如神来之笔，迷倒了众多HAM中的“军迷”。

YAESU FT-450AT

万元级短波机是个很有潜力的消费等级。很多HAM在选购短波器材时都希望自己选购的机器要高人一等，一步到位，10000元左右的价格是短波器材选购者普遍的心理承受价位。在这个价位上，市场上具备中频DSP处理的机型主要有YAESU的FT-950和Icom公司的IC-7000和IC-7400。

YAESU公司的FT-950是万元级短波机中最有人气的产品，2009年中FT-950的价格降到万元以内更激起了HAM购买的欲望。FT-950在外观设计上采用传统高端电台大机身多按钮设计，面板看起来专业而又传统，放在工作台上“面子”十足。FT-950在技术性能上配置比较高，基本可以理解为FT-2000D的简化版本。中频DSP、DSP降噪、加强的滤波、内置天调、可以使用大部分FT-2000D升级部件，这使得FT-950成为配置高端升级潜力十足的机型，非常符合购机者的要求。当然如果你真的想购买μ-Tuning和DMU-2000升级的FT-950的话，价格可能会比原机还高，不过发烧花钱总是一步一步

YAESU FT-950

的，梦想一直在前方。

Icom公司的IC-7400来源于IC-746pro，采用大机身、大液晶屏的设计，但由于价格相对偏高，而且很多人认为这是一个老机型，所以垂青者很少。IC-7000虽然在短波性能上平平，但其包含U/V波段的多功能、多用途设计，加上非常诱人的彩屏搭配，使得它从2005年上市以来一直是销售的“常青树”。

在20000元以上的高端机方面，2009年度最引人注目的是ICOM公司的IC-7600。IC-7600作为著名IC-756ProⅢ的升级产品，在面板设计上去掉了传统的机械指针S信号表，进一步扩大了彩色液晶屏的面积，同时也加强了频谱显示的性能，在视觉效果上有了明显的提升，一看就是高档机。ICOM公司在DSP降噪方面一直做得不错，这次IC-7600也用上了新一代的DSP降噪软件，效果非常明显。

在同一价位上，YAESU提供了200W版本的FT-2000D，功率是硬道理，大功率在比赛和争抢中的优势是不容置疑的。大功率版本的机器也是一些崇拜“大炮”而又不打算购买功率放大器用户的首选。FT-2000D的亮点在于它的强化滤波的设计，这在电磁环境日益恶化的情况下和国际比赛期间复杂的电磁环境中尤显重要。同时FT-2000D也可以通过升级μ-Tuning和DMU-2000达到几乎与旗舰FTDX9000相当的实际性能。

ICOM IC-7600

电台周边器材篇

DSP处理技术的应用已成为现代短波电台的标志，DSP降噪技术为很多用户所津津乐道。在很多HAM手中还有不少老机器，限于当时的技术，并没有使用DSP降噪，但其中不乏接收性能相当不错的经典名机。美国SGC公司有一款ADSP2音箱，内置DSP降噪处理芯片可以搭配任意电台，通过对电台输出的音频进行处理，在一定程度上消减噪声。这对一些原先没有DSP降噪功能的老机型和专业机型是一个不错的性能提升捷径。虽然它不是一款新产品，但2009年通过国内一家专业公司引入业余无线电界，一些“尝鲜”的用户都有不错的评价，效果优于一些业余电台机型自带的降噪处理。不过专业的东西就是贵，1600元的标价对个人HAM消费者绝不算便宜，所以依然有不少HAM持币观望，期待有国内DIY产品的出现。

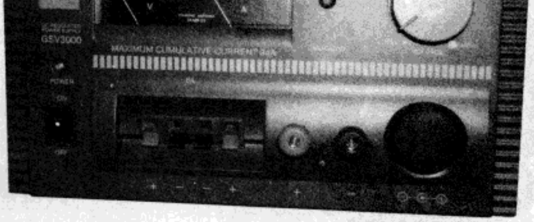
电源方面，进口的DIAMOND GSV3000线形电源和DAIWA SS-330W开关电源稳居千元级高档电源前列。GSV3000稳定性很好，外观设计又与国产电源不同，加上Diamond金字招牌，是一款很上得了台面的电源。DAIWA SS-330W作为开关电源，电流大、重量小是它的特点。该电源轻巧，所以适合外出便携使用。在2009年，国产电源中有一款比较有特色的开关电源QJE PS30Ⅱ。该电源的外观和一些功能在设计上与在国外颇有名气的ALINCO DM-330MVE电源颇为神似，除了提供最大35A电流输出和5～15V电压可调外，还具备干扰偏移功能，确保将开关电源与生俱有的工作频率谐波对短波接收的影响降到最低。PS30Ⅱ在国内为业余电台设计的电源中算是很不错的产品，性能比较有保障，同时也适合外出携带使用。如果HAM认为进口的SS-330W和DM-330MVE价格比较高，那么国产的PS30Ⅱ是不错的备选方案。

天线分析仪是热衷于天线研究的HAM必备工具。MFJ-259/269在HAM界已经盛行多年，国内也有同类型的DIY产品出现，并经过多次改进。国产的AW07A几经升级，不但价格便宜，而且测量效果也不错，完全不输于国外同等产品。有消息，AW07A的设计者将重新设计新一代的天线分析仪，会从目前数字显示型升级到更直观的图形化直接显示。国外已有爱好者成功地通过高性能单片机廉价实现类似网络分析仪的多参数图形化天线分析仪，还能显示史密斯圆图，并公开了大部分制作资料。在专业领域，安捷伦和安立的手持网络分析仪早就广泛使用，对天线特性的快速测量和调整极为方便，只是进口仪器几十万的价格非HAM个人所能承受，现在通过DIY也有望使HAM领略高科技仪器带来的便利。

SGC ADSP2降噪声箱

2009年，国产对讲机市场可喜之处是我们可以见到越来越多国人自己设计的对讲机，不管从内在还是外观都开始由模仿逐渐走上自主创新的轨道。ICOM和KENWOOD在国内都有了有售后保障的行货出售，行货产品在机身上都贴有刮开式的电码防伪贴。遗憾的是，除了手持对讲机外，车载机和短波电台在业余电台市场基本都是洋货的天下。希望在新的一年里商家能精益求精推出更多的精品，也能在业余电台的各个领域见到更多国产产品的身影。

QJE PS30 II



GSV3000

火腿操作入门

基地台发射操作进阶

◎方明（BA6AA）

要进行发射操作，首先得知道发射机的工作模式。第5期我们已经讲到了，大部分基地台的发射模式限定于SSB/CW/AM/FM/RTTY五种。对于不同的发射模式，其操作要点有所不同，本文仍以FT-897D机型为例进行介绍。

单边带工作模式

开机后，使用MODE<或>键选择单边带模式。火腿们的缺省约定是40m及以下波段使用下边带（LSB）模式，而在20m及以上波段使用上边带（USB）模式。在正式发射前，需要检查一下话筒增益的设置是否和你的说话习惯相匹配。

发射音质的调整

不少人第一次使用录音机时都有一个感觉：回放的自己的声音不像自己。撇开骨传导等专业术语不谈，现在的电台可以允许你调整发射音质，以便让接受者听到的音质接近于你想让他听到的。当然，把男声变成女声我看就不必了吧，您说呢？

FT-897D的音质调整分为3点。第一，可以调整MH-31手持话筒背后的TONE音调开关。这个开关用来调整话筒的频响特性，位置1为全频输出，位置2则会削减一部分低音成分，使你的声音听起来更清脆。第二，电台内置了DSP话筒均衡器，可以改变你的话音音频的频率响应，使你可以根据喜好去除话音频谱中的高频或低频成分。第三，897还内置了语音压缩处理功能，可以加大调制度，从而增加有效发射功率，使接收方接收到的信号更强更清晰。注意：因为每个操作员的语言习惯不同，加上过度压缩会导致语音失真，请在设定后进行通联测试，找到最适合自己的语音压缩处理的数值进行设定。

异频操作

在进行DX通信和通联比赛的时候，常常需要使用异频操作，即在一个频率接收对方的发射信号，而在对方的守听频率进行发射，这样才能完成有效的QSO。跟FM模式使用中继台进行通联不同的是，短波的异频操作的频差通常是不固定的，需要随时调整，因此不能使用简单的设定频差的方式进行操作使用。

输出功率的调整

FT-897D的075号菜单用于调整输出功率。注意：对于SSB模式而言，输出功率并非一成不变，而是跟调制度有关。调制度大则输出功率大，而调制度又取决于你说话的音量，音量大则调制度大，但音量过大则会引起过调制，导致信号失真。使用SSB方式时，输出功率的设定值只是输出峰值功率的一个参考值。

进阶知识

单边带（SSB）工作模式

人们对于事情的处理方式通常取决于两个方面：生产力的发展水平和个人的喜爱偏好。古代的女性想要减肥，只有拼命节食。虽然还有运动可选，但强健的体魄并不是当时美女的标准。现代人则可以减肥茶、健身房、抽脂甚至基因阻断，每种方式似乎都有生意。未来人则有可能实现类似VOD的随意体型。对于无线电信息传输而言，目前要传输的不外声音信息、视频信息、编码信息3种（脑电

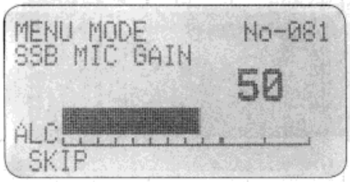


图1 调整音频输入电平

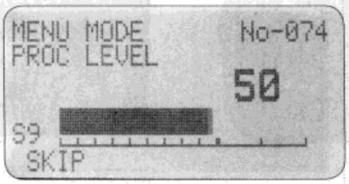


图2 调整语音压缩处理程度

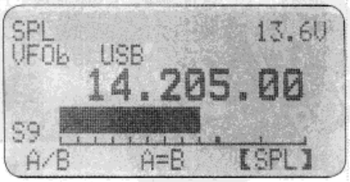


图3 异频操作

波直接交流尚未实现）；而火腿最常用的还是声音信息。虽然物理老师告诉我们，频率在20Hz～20kHz的信号是一般人耳能听到的音频范围，但事实上在300Hz～3kHz范围内，就能基本反应语音的内容和音色特征，为了节约资源，在利用电信号语音通信的系统只要能传输300～3000Hz的带宽就足够了。话音通信的音频带宽一般规定为2.7kHz，这个频率范围的语音信号是不能克服空气和障碍物的衰减而传播很远的（哪怕有内功也不行），要想传播，办法是把这个信号调制在一个高频的无线电波上发射出去，在接收端再解调放大，用扬声器发声。常用的语音信号调制方式有AM调幅、FM调频、SSB单边带3种，加上传送编码信息的CW和RTTY模式，就构成了我们讲过的火腿最常见的5种操作模式。表1给出了5种模式的特性对比。

调频工作模式

开机后，使用MODE<或>键选择调频模式。同样，在正式使用前需要检查并设定FM模式下的话筒增益。

因为FM通联模式的音质好，抗干扰能力强，导致很多HAM产生了“聊天依赖性”，按下发射键后就说个没完，

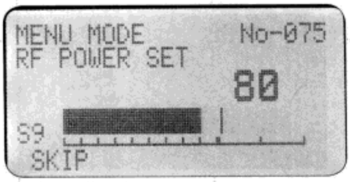


图4 调整输出功率

也不管机器是否过热、中继台是否能连续转发、甚至对方是否能够接受。为避免此类现象，FT897D内置了发射时间限制功能。按住F键/s进入菜单模式，旋转快选旋钮到84号菜单【TOT TIME】（发射时间限制调整），缺省值是OFF，旋转手轮可在1～20min之间选择发射时长，到时候电台自动关闭发射转换回接收状态，长按F键保存退出。TOT功能的另一个作用是避免发射键因故障或无意中受挤压而导致电台损坏。

中继模式操作

使用FT897D，通过FM中继台与其他电台进行通联之前，需要进行3项设置：差频方向，差频数值和亚音设置。标准的0.7m波段业余中继频差为5MHz，标准的2m波段业余中继频差为0.6MHz。

中继操作时，有时需要了解其他上行信号的强度，以直观判断该电台与自己的距离。此外，为了方便使用，FT897D的002和003号菜单分别提供了2m和0.7m业余频段的自动频差功能，不过其内置的规则是根据机器的版本设定的，因目前只有美洲版和欧洲版，并无中国版，所以此功能在国内并不好用，建议关闭。

CW工作模式

在进行CW等幅报工作模式时，需要外接发报用的电键，或计算机模拟电键。常用的电键有手键和自动键两种，手键分苏式和美式，自动键分单桨和双桨，限于篇幅不多叙述。将电键的插头插入FT897D背后的KEY电键插孔，然后使用MODE<或>键选择CW模式。

使用手键时，点和划的组合、长度比例、发报速度完全由操作员进行控制，而使用自动键时，操作员拨动桨片，只能控制点和划的数量，其发报速度和长度比例需要事先进行设定。

RTTY工作模式

进行RTTY操作前，需要将计算机和电台进行连接，常用的连接设备是TNC（终端节点控制器）或终端调制解

表1 SSB/CW/AM/FM/RTTY五种发射模式的特性对比

	AM调幅	FM调频	SSB单边带	CW	RTTY
简单发射工作原理	对高频载波的振幅进行调制后发射	对高频载波的频率进行调制后发射	对高频载波的振幅进行调制后，消除掉载波和一个边带信号再进行发射	无任何调制，仅发射断续的载波，靠断续的载波的长短代表“点”和“划”	在载波上调制2125Hz和2295Hz两个单音来代表“1”和“0”，从而组合成ASCII码流来传递信息
信息种类	话音	话音	话音	点和划	数据
占用带宽	6kHz	12.5kHz（NFM） 250kHz（WFM）	2.7kHz	50Hz	3kHz
优点	电路简单； 发射、接收机成本低，便于推广和普及； 对频率稳定度要求不高	音质好，适合传输高保真音乐等信号； 抗干扰性能好	发射效率高，相当于AM模式的4倍； 能量利用率高，机动性更好	因为不存在调制和解调信号，所以电路最简单，发射效率最高	可传送数据信号，信息量大，便于存储、备份和转发
缺点	效率低，远距离传输需超大功率发射	占用带宽宽，频率利用率低，能耗效率低，多信号存在交叉调制，不适合短波及以下频段； 因使用VHF及以上频段，难以远距离传播	频率稳定度要求高，接收和发射频率需要高度一致； 电路复杂，成本高	嘀嘀嗒嗒的电码一般人听不懂，需要培训或聘请译电员	需要PC等数字信号处理存储设备的辅助才能工作，成本最高

对于最常见的调幅方式来说，因为大量的能量被无用的载波信号占用，所以发射效率很低，要想增加传输距离，只有加大发射功率。截止20世纪90年代末，仅美、俄、英、德、法、印六国的国际广播功率之和已达158000kW，既不环保，也不节能。单边带模式的应用，极大地改善了这一现象。火腿们使用5W输出功率的QRP发射机，借助良好的天线系统、丰富的操作经验，可以实现全球范围的有效通联，想一想，就让人感到兴奋。

调器。通常情况下这个连接设备的一端连接计算机的串口或USB口，另一端连接FT897D背后的DATA数据接口。早期的TNC都是有源的，需要外接电源；现在多为无源的，直接在串口或USB口取电。同理，在正式操作前，需要调整TNC输入电台的信号强度，以保证电平匹配和编解码工作正常。

需要注意的是：因为RTTY的本质是一种调频波，在发射时功率持续输出，发射机负载很重，温升明显，建议半功率操作，注意散热，尽量不要长时间操作。尤其是使用电池工作时，更要注意节能。

此外，数据通信方式除了RTTY方式之外，还提供了PSK31方式。PSK31是近年来新出现的优秀窄带数字方式，因信号速率总保持在31.25bit/s而得名。PSK31使用极窄的带宽，每个频点能容纳10路PSK31数据链路同时使用，并且抗干扰能力极强，只需要5～10W的功率即可完成DX通联。它的优点还包括：支持PC声卡，不需另外购买昂贵的TNC，支持中文界面和中文传输，工作稳定可靠等，强烈推荐使用。

AM工作模式

对于火腿而言，低效、占用带宽的AM模式现在已经很少使用了，不过在电台上保留这种发射模式仍然有意义，比如在应急的时候向持有AM收音机的人进行通知。另外，因为AM发射的是连续波，只要按下PPT，不说话的时候也在发射电波，电台负载较重，应尽量避免长时间连续使用。

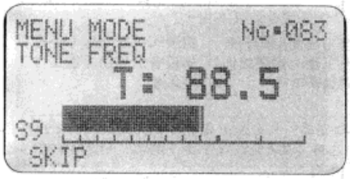


图5 在083菜单中选择所需要的亚音值

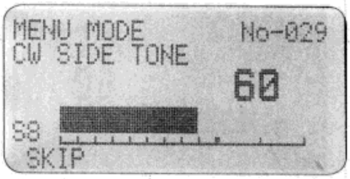


图6 调整CW侧音音量大小

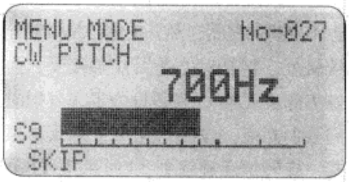


图7 调整CW侧音音调

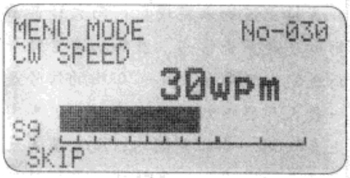


图8 设定自动键的发报速度

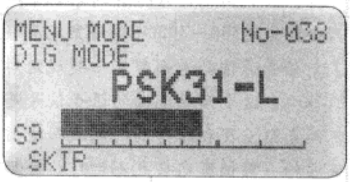


图9 选择PSK31模式

ATAS120的使用

ATAS100/120是FT-897D配套的自动天线调谐系统，是一套小型化的自动天调+天线的组合体。其优点是体积小，馈线直接供电，便于安装和使用，尤其适合车载移动使用。

在首次使用ATAS120进行QSO之前，需要进行自动调谐。切换波段后需要重新调谐并记忆，今后再次切换回已调谐过的波段则不需要调谐了，ATAS120会根据记忆自行调整到需要的长度。

因振子长度的限制，ATAS120用于短波波段的效率不高，建议在固定使用的时候尽量使用全长天线以提高收发效率。

在进行发射操作的时候，还需要注意以下问题。

良好的接地对于电台的发射效率非常重要。现在很多新建的楼房在卫生间或厨房里有等电位连接点，可用来做接地端子。建议电源、电台主机、天调、甚至连接电台的PC都要良好接地。

电台的通联效果除了跟发射功率、接收灵敏度、使用波段、电波的传播特性有关之外，还跟天线的电波发射仰角有关。对于DX通联应尽量选用垂直天线、八木天线等低仰角天

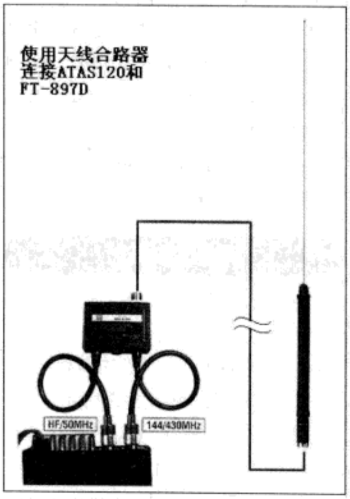


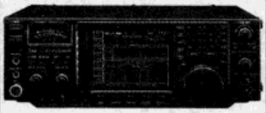
图10 使用天线合路器连接ATAS120和FT-897D

线，而对于500km以内的短距离通联应尽量使用倒V天线等高仰角天线，以避免越距现象。

作业1 火腿们使用单边带方式进行通联的时候，40m及以下波段常用下边带（LSB）模式，而在20m及以上波段常用上边带（USB）模式。请问这是一种偶然现象吗？还是技术上有什么原因呢？

作业2 对比FT-897D和你能接触到的其他基地台，看看不同设备之间的发射操作功能有哪些不同之处。

火腿操作入门



基地台高级操作进阶（上）

◎方明（BA6AA）

各位朋友，本期我们以ICOM IC756PROIII为例，探讨一下基地台的高级操作。

图1是IC756PROIII的前面板。怎么样，看起来很专业吧！毫无疑问，在PLMM面前摆出漫不经心的样子操作一台如此专业的机器，肯定颇具杀伤力哦，哈哈。别急，还有更酷的：想象一下，如果开机后，屏幕上可以显示你对MM的问候语，您的形象是否会变得更加光辉和浪漫呢？OK，让我们马上开始准备吧！

设定开机问候语的方法

IC756PROIII允许设定不多于10个字符的开机问候语。这里的字符包括英文字母，数字，部分标点符号和空格。按【EXIT/SET】键多次，退到初始状态，然后按【EXIT/SET】键1s，再按一下【（F-2）DISP】键，选择屏幕显示设置菜单。按【（F-2）▼】多次直到选中“My Call”项目，按【（F-4）EDIT】键开始编辑。此时，一个小的光标键开始闪烁。转动大手轮旋钮，选择所需要的字符，按波段键确认，光标自动跳到下一位继续闪烁。按屏幕左侧对应【ABC】的功能键可以切换大小写，按【123】转换为数字和符号。按【（F-1）<】或【（F-2）>】可移动光标，按【（F-3）DEL】可删除输错的字符，按【（F-4）SPACE】可输入一个空格。字符编辑好后，按【EXIT/SET】确认，再按一次退出。假设MM名叫ALICE，我们来看看效果吧：

图1 IC756PROIII

图2 自由设定开机问候语

怎么样，MM很高兴吧？雕虫小技见效了，开始深入主题……咳咳，我说的是IC756PROIII啦……首先我们来看看它高级在哪里。

1. +30dBm级别的三阶截止点

这个概念超级专业，我们先打个比方来解释它：高尔夫是一款普通的家用车，但如果贴了个GTI的标则立马让人另眼相看：因为这3个字母代表着高性能，代表着顶级科技的XDS电子式限滑差速器、7速DSG双离合自动变速器和DCC底盘控制系统。+30dBm三阶截止点这个指标就是ICOM的GTI，就凭这个，IC756PROIII就敢号称Take your DXing to the Next Level：把你的DX水平和乐趣提升到更高一个层次！

进阶知识

三阶交调截止点（简称IP3）

IP3包括IIP3（输入三阶交调截止点）和OIP3（输出三阶交调截止点），是反映放大器线性特性的重要指标，具体指三阶谐波与输入端基波电平相同时，对应的输入/输出功率电平。

当两个或多个正弦信号经过放大器时，由于放大器的非线性作用将产生交叉调制，会输出包括多种频率的分量。其中，以三阶交调分量的功率电平为最大，它是非线性中的三次项产生的。道理很简单，我在说话，你离我近，当然就感觉声音大听得清楚，他离我20m远，除非长个狗耳朵，不然就听不清。三阶交调分量离基频最近，当然功率也就最大，危害也就最严重，是我们需要重点防范的对象。假设两干扰信号的频率分别是 $f1$ 和 $f2$，那么，三阶交调分量的频率为 $2f1-f2$ 和 $2f2-f1$。如果该频率不幸落在接收机的通频带内，则会影响接收性能，如果功率足够大，则可以阻塞放大器。

——估计有一半的朋友看到这里已经晕掉了，哈哈。先别急，请忍痛继续：

假设我们在14.2MHz接收DX信号。此时，在14.3MHz和14.4MHz两个频点各有一个大功率信号在工作。因为不需要，对于我们来说，它们就是干扰。20m业余波段的频率范围为14.0～14.45MHz，对于业余电台而言，

接收机的通频带必须覆盖整个有效频段，也就是说，14.3MHz和14.4MHz频点上的两个“大功率干扰台”不可避免地要进入到接收机的放大器中来。不过，这两个干扰台不会对我们在14.2MHz的接收产生影响（为什么呢？因为我们使用的是多次变频超外差接收机），对我们产生影响的是三阶交调分量2*f*1−*f*2和2*f*2−*f*1。请拿出纸笔计算一下这两个频率：一个是14.5MHz（没关系，也被超外差给“叉叉”了），一个是14.2MHz——很不幸，跟我们想接收的弱信号重叠了。现在就连上帝也没办法了，让我们一起晕倒三分钟……

朋友，醒醒……就算有干扰，DX也是要做的。再说了，我们还有一招——信噪比啊。设想一下，如果我们的信号比干扰信号强很多，信噪比很好，那么我们也不用怕他了。好了，现在问题就变成这样的了：在确保信噪比够用的前提下，哪个电台能容忍干扰信号的功率更大，那它就是更牛的电台。OK，这个指标就是——IP3。限于篇幅，省略掉繁杂的数据推导过程，+30dBm级别的三阶截止点意味着，在接收14.2MHz的DX信号的时候，假设该信号的强度为−120dBm，那么即使14.3MHz和14.4MHz的干扰信号的强度为−63.3dBm，也就是比14.2MHz的有效信号强度大约47万倍，其产生的三阶互调干扰仍然不足以对我们的接收产生影响。我们曾介绍过的某业余电台的三阶截止点的指标是+20dBm，也就是如上干扰信号的强度比有效信号大过10万倍，就会严重影响有效信号了。也就是说，IC756PROIII抗三阶交调干扰的能力比三阶截点为+20dBm的某业余电台要好差不多5倍——这的确是个很了不起的进步。

在电影《永不消失的电波》里，地下党员李侠在上海用发射功率不足5W的发报机，可以直接和延安总部电台进行联系。一个重要的原因，是20世纪40年代空中的无线电干扰很低。而21世纪的今天，我们的身边充斥着高强度的无线电信号，严重影响了对有用信号的接收和分辨。可以想象，如果IP3的值很高，意味着接收机抗干扰能力超强，这样一来，你就可以“屏蔽”掉各种干扰信号，从而更容易地捕捉来自遥远地方的微弱的DX信号了。

2. 双接收。你可以认为壳子里装了两台HF+6m波段的接收机和一台发射机。还记得苏37吗？没错，IC756PROIII就是电台里的苏37！它可以“跟踪”任意业余波段（当然，仅限于HF+6m波段）不同模式的4个频率，并同时接收和解调其中的两个（仅限同一个波段，比较遗憾）。这意味着，你在14.270MHz和国内的老朋友们聊天的时候，可以同时监听20m波段上的DX信号，一旦发现新的DX字头，可以马上过去拿下。

3. 32位浮点DSP。相比原IC756RPO的24位DSP，新的32位浮点DSP提供了更为清晰和好用的数字信号处理器。IC-756PRO Ⅲ接收的解析度很好，DSP有图形显示，可以直观看到滤波器的带宽，可以将你所要的声音从背景噪声中“挑”出来，听感非常舒服。

4. 双时钟显示。可以同时显示北京时间和UTC时间，方便通联。

5. 数字录音功能。可以录下老朋友的声音，用来纪念和回忆，当然更重要的是参加SSB比赛的时候录下呼叫信号随时播放，就不用嗓子冒烟地拼命喊“CQ CONTEST”了。

6. FOD（按需设置滤波器）功能。再也不需要另外花银子买昂贵的滤波器选件了，基于高速DSP技术的双通道通带调节器（PBT）可以改变中频滤波器的带宽和移动其中心频率，从而轻易消除干扰，有关工作状态可实时显示在LCD显示屏幕的顶端。

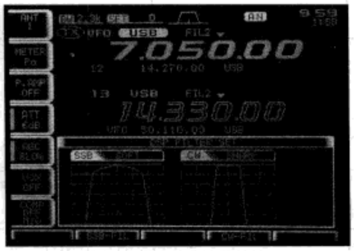


图3 设置SSB和CW模式的滤波器特性

7. 5.2英寸TFT真彩液晶显示器。可显示各种状态和实时操作信息，8种显示风格和7种字符字体随意组合，每天开机都有新鲜感；内置RTTY解码功能，在电台的屏幕里能直接显示RTTY内容，不需要PC解码。电台可以编辑和储存常用的RTTY短语供调用，这样不需要外接电脑就可以完成普通的RTTY QSO。新出的升级版IC7600更是附送了一个键盘，这样就可以轻松地打字聊天了。我觉得，如果内置中文QQ聊天软件，那这个机器肯定更好卖。

限于篇幅，此处不再介绍各种常规操作，下面我们来认识一下IC-756PRO Ⅲ的液晶显示面板及其操作。图5是其开机完成后的主工作界面。可以分为左侧功能键控制区、底部菜单热键区、顶端辅助工作信息指示区和中部主要信息指示区。

左侧功能键控制区有7个选项，其中有天线选择键，用于切换使用连接背后两个主天线接口的两根天线，缺

图4 IC7600及其USB键盘

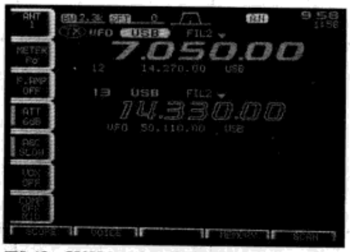


图5 IC－756PRO Ⅲ主工作界面

省值为ANT1。注意：后面板底部还有一个RCA插座用于接入一个纯接收天线，因为不用承担发射功率，可以接非匹配天线或小功率天线，如短波市内小环天线或蛛网天线。

进阶知识

多个天线插座的作用

YAESU FT－897D有两个天线插座，一个是HF＋6m波段，一个是U/V波段。IC－756PRO Ⅲ只有HF＋6m波段，为什么也有两个天线插座呢？

在HF的1.5～30MHz的频谱范围中，共有1.8MHz、3.5MHz、7MHz、10MHz、14MHz、18MHz、21MHz、24MHz、28MHz共9个业余波段，加上50MHz波段共10个，分别标注在显示屏右侧键盘区的0～9共10个数字键上，可以单键快捷切换。这10个波段的波长相差巨大，低端的波长为160m，高端仅为6m。一副全尺寸的40m波段三单元八木天线的投影面积约为400平方米，而在160m波段，这个数字则是惊人的6400m²！！想象一下，面积为6400m²的庞大天线，在空中缓缓转动的场景吧……你是不是和我一样想到了美国大片《独立日》中外星人的航母飞船啊？呵呵。显然，购买和架设低波段的八木天线，对于大多数火腿来说，都是不太现实的事。

火腿们普遍的做法，是在40m及以下波段使用偶极振子天线，而在20m及以上波段使用八木天线。这样的两副天线是目前兼顾现实和使用效果的较好的一种妥协方案。对于HF＋6m波段只有一个插座的YAESU FT－897D，需要另外购买一个天线切换器；而有两个天线插座的IC－756PRO Ⅲ则只需按一下上述的天线选择键。

两个或更多天线插座还有一个好处：便于进行天线的AB对比测试。假设A天线收某信号S表为1，而B天线为2，说明B天线的增益比A天线高6dB。至于IC－756PRO Ⅲ，还有一个单独的接收天线插座，因该电台具备双接收功能，在参加比赛的时候可以同时监听其他频点的字头信号，从而提高QSO效率。

进阶知识

业余电台的前置放大器(Preamplifer)

为了追求极限，最大限度地提高对小信号的放大能力，越来越多的业余电台在接收机的前端又增加一级放大，称为前置放大器。前放并不是越多越好，因为一来其本身不可避免地会有电路噪声，也会被后级放大器放大，干扰有效信号产生失真；二来我们在前文曾经提到，如果放大器的倍数足够高，足以放大非常小的信号，那么强度很大的信号来到时就会受不了，如同精密天平不能用来称重大货车一样。失真度和动态范围（放大器能线性放大的最小信号到最大信号的强度范围）是前置放大器最重要的两个指标。

为了最大程度地减小失真和增加动态范围，IC－756PRO Ⅲ使用了两个全新设计的、和顶级机型IC7800相同的前置放大电路。前放1采用了无噪声反馈设计的推拉放大器，这种电路具有很高的响应截止点，可覆盖很宽的频率范围；前放2采用了双极晶体管来获得高增益，适用于单独的低效率接收天线，如小环天线或贝佛莱日天线。

主界面底部有5个菜单选项：SCOPE、VOICE、KEYER（仅在CW和RTTY模式下有效）、MEMORY和SCAN。主界面顶部的信息区用于显示当前工作状态的几项常用信息，其内

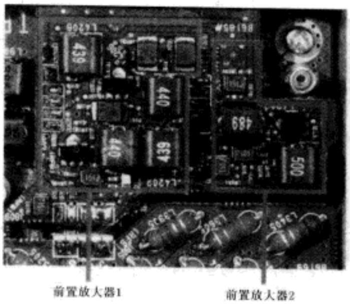


图6 IC－756PRO Ⅲ的前置放大器

容根据工作模式的不同而不同。如图7所示，在单边带工作模式下，从左到右依次是：中频滤波器当前工作带宽指示BW，中频滤波器频偏指示SFT，图形化的当前带宽和频偏指示，RTTY调谐指示(仅在RTTY模式下有效)和主时钟。屏幕中间的主工作信息指示区里，最醒目的大字当然是主接收机的当前工作频率了，大字的上方，从左到右依次是发射指示、VFO/频道状态指示、工作模式指示、当前滤波器指示，最右端是副时钟。大字下方的一行小字用来指示和当前主频率对应的频道或VFO中的频率和模式，使用屏幕右侧第四个按键VFO/频道切换键，可切换VFO和当前频道中的频率和模式。下方为第二接收机的当前频道和当前VFO的频率和模式，显示方式跟主接收机相同。按屏幕右侧第五个按键主/副接收切换键，可将第二接收机的当前工作频率提升到上方的主接收机区域，成为当前工作频率。这样，组合使用VFO/频道切换键和主/副接收切换键，就可以方便地在

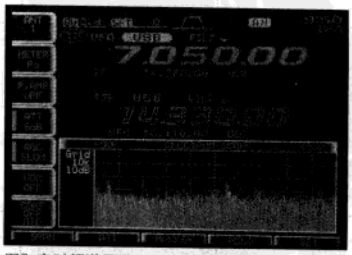


图7 实时频谱显示

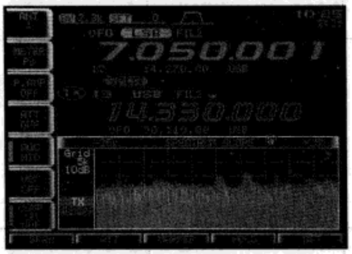


图8 使用主副频双显实现异频收发操作

4个需要监听的频率之间快速切换，非常直观、便捷。

主副频双频显示还有一个好处，可以方便地实现异频操作。将主频率调到所需的接收频率，按一下屏幕右侧第一个【SPLIT】键，再按第三个【CHANGE】键一秒钟，就会发现发射指示（TX）跳到了副频率上，此时把副频率调整到所需要的发射频率即可。再按【CHANGE】键可以切换收发频率实现倒频。

作业1 IC-756PRO Ⅲ的前置衰减器分6dB、12 dB、18dB三挡，为什么不是10 dB、20 dB、30dB呢？

作业2 学习了解超外差接收机的工作原理，弄清楚为什么采用超外差多次变频电路可以有效提高接收机的抗干扰能力。

【2009年第7期作业答案】

要说清楚这个问题，首先要简单了解一下单边带调制技术的起源和发展。第一部 14MHz 单边带发射机起源于战后的1947年10月，20世纪五六十年代开始在业余爱好者中普及，七八十年代单边带成为业余无线电通信的主流模式。在20世纪80年代中后期，PLL锁相环技术和电路全面应用以前，大多数火腿们依旧在享受着使用分立元件自己DIY业余收发信机的乐趣（也许是被迫的，因为那个时候商品业余机价格昂贵，并不是所有爱好者都买得起）。自制单边带收发信机的关键器件是边带晶体滤波器。当时的晶体滤波器价格很高（事实上直到今天也是这样，连YAESU FT-897D的窄带晶体滤波器都是选购件，需要另外花钱买），火腿们只能用尽可能少的晶体滤波器。于是下面这种电路逐渐成为主流：用9MHz的晶体组合成边带晶体滤波器，用LC回路搭出可变的5MHz本振电路（通常可变范围介于5～5.5MHz），两者混频产生需要的业余频率。9+5=14MHz，9−5=4MHz，通过对两个混频产物进行选择、滤波和放大，覆盖了75 m和20 m这两个当年最主要的业余频段。因为一个是上差，一个是下差，这样的处理使得边带反转，在20 m波段产生的是上边带信号，在80 m波段产生的是下边带信号，最后导致了在低波段上使用LSB 和在高波段上使用USB 的惯例。

江苏省首届“电信杯·移动杯”青少年无线电能手大赛圆满落下帷幕

◎本刊通讯员

经江苏省教育厅批准，由江苏省科协、省无管局和省电子学会联合举办，南京信息职业技术学院、中国电信江苏公司和中国移动江苏公司协办，省青少年科技中心和省青少年科技教育协会承办的江苏省首届“电信杯·移动杯”青少年无线电能手大赛决赛圆满落下帷幕。本次大赛从2008年11月初开始，经过第一阶段的初赛（进行手机、小灵通短信知识答题），第二阶段的复赛（进行无线电技术应用创意项目的展示和答辨及动手制作电子作品），最后从全省500多所中小学的15000多名参赛选手中决出6支代表队（3支小学队、3支中学队），于2009年6月14下午在江苏省教育电视台举行了决赛。

本次活动旨在使用手机、掌上电脑或笔记本电脑，利用CDMA1X、WLAN、GPRS、短信等平台，在一块基于公众无线电通信网络的无线应用开发系统板上，进行远程传感和控制项目的创新比赛，将无线通信的通话功能拓展到更广泛的遥控遥测应用。

经评委严格公正的评审，大赛最后评出优秀组织奖36个单位、团体三等奖9所学校、团体二等奖9所学校、团体一等奖6所学校。团体一等奖6所学校和他们的作品分别是：南京市江宁铜山中心小学（千里眼防盗报警器）、南京市第三高级中学（神奇CDMA智能化安全系统）、吴江市实验小学（太湖水监测系统）、江苏省常州高级中学（无线噪声监测器）、徐州市贾汪区新新小学（远程检测煤矿瓦斯预警专家）、南京市大厂高级中学（水面蒸发自动监测仪——无线自动气象数据采集系统）。其中南京市第三高级中学获得本次大赛“电信杯”奖、徐州市贾汪区新新小学获得本次大赛“移动杯”奖。

火腿操作入门

基地台高级操作进阶（下）

◎方明（BA6AA）

朋友们，本期我们继续以ICOM IC756PROIII为例，学习了解基地台的高级操作。

一键切换到你的常用频率和模式

对于每个业余波段，火腿们都会有几个常用的操作频率。以 40m 波段为例，中国的火腿们常在 7.023MHz 进行 CW 通信，在 7.060MHz 进行呼叫，在 7.053MHz 加入周末的华语网络；而在 20m 波段，则在 14.180MHz 加入每天北京时间早上 8 点的华语网络，在 14.230MHz 进行 SSTV 慢扫描电视通联，在 14.270MHz 进行呼叫。为了应付这些常用频率，一般有两种方法：第一是把这些频率和模式统统存入存储频道中，然后按需调用；第二是在 VFO 模式下使用手轮调谐频率，然后按键切换工作模式。前者在存储频道较多的情况下查找和调用并不方便；后者虽然更符合业余无线电百年传统，但显然工作量更大。ICOM IC756PROIII 综合两种方式各自的优缺点，创造性地给出了第三种方法：借助三单元波段堆栈寄存器，一键（最多三键）切换到你的常用频率和模式！

上期我们已经讲到，使用显示屏右侧键盘区1-0十个数字键，可以在160m~6m的10个业余波段快速切换。更加高级的是，每个按键都附带了一个三单元波段堆栈寄存器，可以设定并记忆本波段你最常用的3个频率及其对应的工作模式。见表1。

表1 各波段堆栈寄存器缺省频率和模式表

波 段	堆栈寄存器1	堆栈寄存器2	堆栈寄存器3
1.8 MHz	1.900000 MHz CW	1.910000 MHz CW	1.915000 MHz CW
3.5 MHz	3.550000 MHz LSB	3.560000 MHz LSB	3.580000 MHz LSB
7 MHz	7.050000 MHz LSB	7.060000 MHz LSB	7.020000 MHz CW
10 MHz	10.120000 MHz CW	10.130000 MHz CW	10.140000 MHz CW
14 MHz	14.100000 MHz USB	14.200000 MHz USB	14.050000 MHz CW
18 MHz	18.100000 MHz USB	18.130000 MHz USB	18.150000 MHz USB
21 MHz	21.200000 MHz USB	21.300000 MHz USB	21.050000 MHz CW
24 MHz	24.950000 MHz USB	24.980000 MHz USB	24.900000 MHz CW
28 MHz	28.500000 MHz USB	29.500000 MHz USB	28.100000 MHz CW
50 MHz	50.100000 MHz USB	50.200000 MHz USB	51.000000 MHz FM
General	15.000000 MHz USB	15.100000 MHz USB	15.200000 MHz USB

驻波表的使用

驻波和驻波表的概念已经介绍过了，ICOM IC756PROIII的驻波表在所有波段的所有模式下均起作用。跟TS-440S等老式电台不同的是，其表头无需校准，使用更加方便：按【TUNER】键关闭自动天调，按【METER】键选择Po（输出功率指示），然后按【CW/RTTY】键一到两次，选择RTTY工作模式。按下【TRANSMIT】键或PPT键，顺时针旋转【RF POWER】旋钮超过12点钟的位置，使输出功率略大于30W。再按一下【METER】键，把表头指示切换到SWR指示，见图1，此时就可读出当前频率的驻波比数值了。之所以选择RTTY模式，是因为此模式下可以输出连续的100W射频功率；调整输出功率的目的是为了避免小功率造成的SWR失真。

除了模拟表头指示之外，IC756PROIII还可以在LCD大屏幕上显示多功能数字表头。按【METER】键1s开启此功能，显示屏的下半部分将出现一个巨大的多功能数字表头，如图2所示。按屏幕下方的【（F-1）P-HOLD】键可打开峰值保持功能，便于在SSB等信号强度变化较大的情况下读出最大信号强度（此时P-HOLD字样将显示在表头上）。

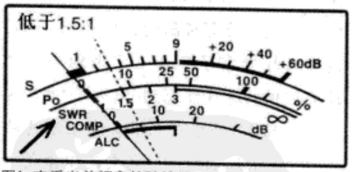


图1 查看当前频率的驻波比

图2 在LCD大屏幕上显示多功能数字表头

发射带宽设定（仅限SSB模式）

ICOM IC756PROIII在SSB模式下的发射带宽可在宽、中、窄3种模式中选择。3种模式的缺省带宽如下：宽100Hz~2.9kHz（带宽2.8kHz），中300Hz~2.7kHz（带宽2.4kHz），窄500Hz～2.5kHz（带宽2.0kHz）。每种模式的带宽数值均可在LEVEL菜单中重新设定。发射带宽的设定方法很简单：选定USB或LSB工作模式后，长按【COMP】键1s即可在3种发射带宽模式中进行切换。

进阶知识

发射带宽和香农定理

前文已经讲到了，在300Hz～3kHz范围内，就能基本反应语音的内容和音色特征；甚至500Hz～2.5kHz这仅仅2.0kHz的带宽也可以清楚地传达语言信息。那么，为什么WFM模式还要占用250kHz的“恐怖”带宽呢？一个理由是，高保真的声音信号（如20Hz～20kHz）包含了更加丰富的谐波分量，也就是能够最大限度地还原原始的声音频谱，给人带来愉悦的感受。CW的带宽可以低到50Hz，但人类的反应速度总是有极限的，120word/min的速度已经非常了不起了，个别专业电报员抄报的速度可以到300word/min，这已经相当于4个普通电报员发报速度的叠加了。“1”和“0”需要先组合成字符，再组合成字，再组合成句子，其传达信息的速率受到很大限制。当今信息社会，时间就是金钱，我们要想尽可能提高信息传递的速率，就不得不占用更大的带宽，对此给出精确描述和数学模型的就是香农定理。

香农定理由如下的公式给出：$C=B\times \mathrm{LOG2}(1+S/N)$，其中$C$是数据传输率，单位bit/s；$B$是带宽，单位Hz；$S/N$是线路的信噪比，单位dB，分贝数=10×log10（S/N）。MODEM使用音频频率进行调制解调，通过电话线进行传输，通常音频电话连接支持的频率范围为300～3300Hz，则B=3300Hz－300Hz=3000Hz，一般链路典型的信噪比是30dB，即S/N=1000，因此我们有C=3000×log2（1001），近似等于30kbit/s，是28.8kbit/s。即使将音频带宽使用到极限得到6000Hz的带宽，MODEM的传输速率最大也只能达到56.6kbit/s。因此如果电话网的信噪比没有显著改善（基于目前的技术水平和经济效益，这一点很难做到）或不使用压缩方法（如一些MODEM加速软件），“猫”将达不到更高的速率。

香农公式给出了信息传输速率的极限，即对于一定的传输带宽（以Hz为单位）和一定的信噪比，信息传输速率的上限就确定了。这个极限是不能够突破的。要想提高信息的传输速率，或者提高传输线路的带宽，或者提高所传信号的信噪比，此外没有其他任何办法。至少到现在为止，还没有听说有谁能够突破香农公式给出的信息传输速率的极限。

香农定理的另外一个重要意义在于，它指出了数据传输率C一定时，带宽B与信噪比S/N之间可以互换，即减小带宽，同时提高信噪比，可以维持原来数据传输率。例如航天技术中的星际通信，由航天器发回的信号往往淹没在比它高几十分贝的宇宙噪声之中，虽然信号非常微弱，但香农公式指出信噪比和带宽可以互换，只要信噪比在理论计算的范围内，我们总可以找到一种方法将有用信号恢复出来，比如设法展宽带宽。另外，移动通信中的多址接入技术（FDMA、TDMA、CDMA、SDMA以及OFDM），还有各种信源编码、信道传输编码、纠错编码技术的应用和发展，都得益于香农定理。

如何完成异频收发QSO

我们需要先了解两个功能，一个是△TX功能，一个是RIT功能。

“△”是变化的意思，△TX功能的意思是：在QSO的时候，保持接收频率不变，可以微调发射频率。微调范围为±9.999kHz，步进可以是1Hz或10Hz。操作方法很简单，按下【△TX】键，显示屏幕上将出现“△TX”字样和偏移频率的数值，如图3所示。旋转【RIT/△TX】控制旋钮可改变偏移量。

与△TX功能相关联的功能是RIT（Receiver Incermental Tuning，接收增量调整）功能，保持发射频率不变，微调接收频率。如果RIT和△TX同时打开，则旋转【RIT/△TX】控制旋钮将同步改变接收和发射频率的偏移量。ICOM IC756PROIII还具有简单的频率计算功能，如图4所示。

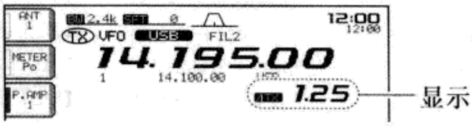


图3 开启△TX功能

图4 频率偏移值的计算

我们举例来说明RIT和△TX功能的应用。一个受追捧的DX电台在做QSO的时候，为了“抖开”成千上万的跟随者，然后“吃掉”，往往需要采用游击战术，也就是发射频率保持不变，但接收频率会不断改变（一般而言，接收频率在其发射频率上方10kHz以内）。现在，我们在21.025MHz听到了一个DX电台在用CW模式工作，很显然，这么稀有的DX电台是不会同频操作的，因为你在21.025MHz只会听到他的发报声，而听不到对方呼叫他的电码声。我们有两种方法可以确定该电台的接收频率。一是仔细听他的回答，如果你运气好，对方操作又很规范，那么一段时间（这段时间的长短取决于追逐该DX电台的其他业余电台的数量以及操作员的个性，但愿不会太长）的守听后你会听到他应该是这样的呼叫：CQ DX DE *****(对方呼号) UP 5 K。很显然，对方说了，他的接收频率比当前频率高5kHz，您可以开启△TX功能，将偏移量调整到5.00，然后在他守候的时候给出你的呼号就行了。如果你的运气不够好，或者呼叫他的电台实在太多，他应接不暇根本顾不上呼叫，不要紧，这样做：按下【△TX】和【RIT】键，同时打开收发频率偏移功能，然后顺时针转动【RIT/△TX】控制旋钮，同时正偏移收发频率。此时，你将在不同的频率上收到多个呼叫该DX电台的其他业余电台的信号，通常都仅仅是自己的呼号，以供对方方便地“挑选”。抄收下来一个呼号后，立即按下【RIT】键关闭接收偏移功能，此时接收频率将跳回21.025MHz，也就是该DX电台的发射频率，去抄收他的“挑选”结果。如果该DX电台给出的对方呼号和你听到的呼号相一致，恭喜你，此时不用做任何操作，把手放在电键上，在他完成一个QSO之后standing by的时候给出你的呼号即可，如果不一致，说明该DX电台的接收频率并不是我们刚刚收听的频率，此时需要再按一下【RIT】键打开接收偏移功能，然后继续顺时针转动【RIT/△TX】控制旋钮寻找下一个正在呼叫该DX电台的其他业余电台的信号，然后重复上述步骤，直到找到该DX电台的接收频率，然后关闭接收偏移功能，保留发射偏移功能，以完成异频收发QSO。

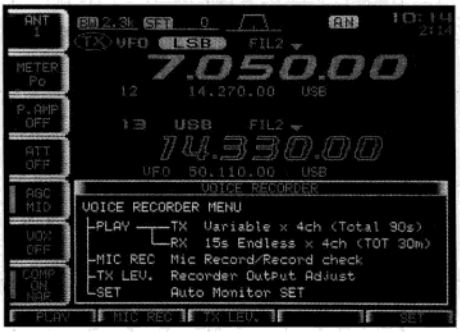


图5 录音控制界面

数字录音功能的操作

IC756PROⅢ的数字录音机有8个存储频道，收发各4个。我们可以通过两个实例来了解此项功能，录音控制界面见图5。

【示例 1】借助数字录音机参加比赛

（播放录音 1）“CQ CONTEST CQ CONTEST BG1XXX BG1XXX CQ CONTEST”。

“BG1XXX U' R 5903 THIS IS VE3RRR”（注：信号报告的格式取决于比赛要求）

（播放录音 2）“QRZ？”

“VE3RRR VE3RRR U'R 5903 5903 QSL？”

（播放录音 3）“ROGER ROGER U' R 5924 5924 QSL？”

“QSL，GOOD LUCK!”

（播放录音 4）“GOOD LUCK！”

（继续播放录音 1）……

【示例 2】失语人士借助IC756PROⅢ数字录音跟其他爱好者进行SSB QSO

（播放录音 1）“CQ CQ CQ 这里是BG1XXX呼叫，Bravo Golf One *** 呼叫并等待回答。”

“BG1XXX 您好，这里是BA6AA回答您，Bravo Alpha Six Alpha Alpha，您的信号59，Five Nine，您抄收吗？Over。”

（播放录音 2）“抄收了，这里是BG1XXX，感谢您回答我的呼叫和给我的信号报告，您的信号也是59，Five Nine，非常好。我姓张，弓长张，今年56岁，QTH在北京市通州区，使用设备IC756PROⅢ，自制三单元倒V天线在六楼的楼顶。我是一位残障人士，不能说话，您现在听到的语音是我请人录的音，播放出来的，请您谅解。虽然我不能说话，但我一样喜欢无线电，希望了解您的情况，跟您交个朋友，这里是BG1XXX，Over。”

“BG1XXX 您好，这里是BA6AA回答您，您的信号很好，非常高兴认识您！我姓方，东方的方，今年36岁，QTH在安徽省合肥市，使用设备ICOM IC706MKIIG，22m长线天线，CG3000全自动天调。您不能说话完全没有关系，我上个月还用CW通联到了法国的F3UYS，他也是位残障人士，不能说话，但CW发得很好，如果您会CW，我们可以用CW进行交流。BG1XXX，这里BA6AA，Over。”

（播放录音 4）“抄收了，这里是BG1XXX，非常感谢您，我正在学习CW，如果您方便的话，我们QSY到7023进行QSO您看怎样？Over。”

“BG1XXX 您好，这里是BA6AA回答您，完全没有问题，QSY7023，Let's go！”

这里没用到的录音3可能是这样的：“抄收了，这里是BG1XXX，非常

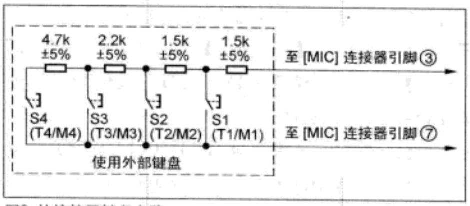


图6 外接扩展键盘电路

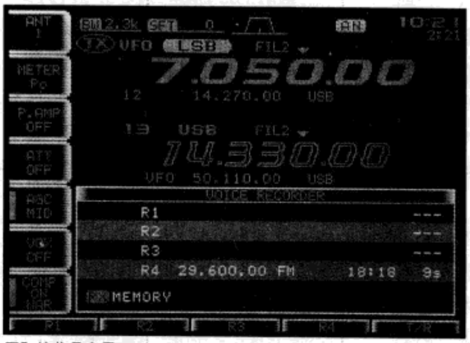


图7 接收录音界面

感谢您回答我的呼叫，虽然我不能说话，但这并不能阻碍我对无线电的爱好和对生活的追求。我会给您寄去我的QSL卡片，希望您在收到后方便的时候回卡。再次感谢这次良好的QSO，祝您生活愉快，身体健康！73!"

进阶知识

沟通无极限

有句话叫"沟通无极限"，对这句话最好的诠释是美国残障女作家海伦·凯勒（Helen Keller）。在失明和失聪的双重打击下，她坚强站立，自强不息，用辉煌的成绩和伟大的人格赢得了所有人的尊敬。一位既盲又聋且哑的残障人士如何与外界交流？我想，莫尔斯电码能为他提供极大的帮助。我们可以用个简单的装置，把接收到的电码转换成轻微的电击，通过电极贴在皮肤上，或使用振动电机把电码转换成长短不一的振动传导给皮肤，这样皮肤就可以"听"懂对方的话；然后操作电键进行发射和回应。业余电台和莫尔斯电码可以让失明和失语人士跟其他HAM进行CW交流，现在，借助数字录音功能，IC756PROIII更可以让一位失语人士跟其他爱好者进行SSB、AM或FM的语音交流！

IC756PROIII还提供了外接扩展键盘功能。火腿们可以用4个微动开关和4个电阻DIY一个外接扩展键盘，电路见图6。这样，在QSO时不必调用录音播放菜单，仅仅需要按动S1-S4就可以方便地播放录音了。

对于4个接收录音频道，不同的是每个频道最大录音长度均被限定在15秒。接收录音的时候，当前工作频率、工作模式、录音开始时间和录音长度等信息将被同时记忆并显示在录音界面上，如图7所示。

作业1 既然56.6kbit/s是"猫"的数据传输极限，那为什么ADSL猫可以传输512K～8M的高速率呢？

作业2 尝试借助录音笔等设备使用预先录制的语音和其他爱好者进行语音QSO，可以在录音中告诉对方，自己因咽喉炎无法说话，使用录音在进行QSO。

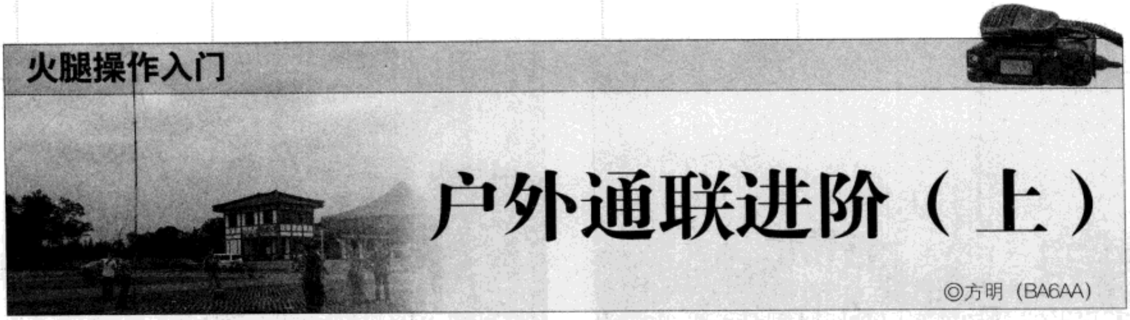
【2009年第8期作业答案】

dB和信号强度的关系是：S表指示每低一个S字，信号强度就低6dB。如果ATT OFF的时候抄收对方信号强度是S9，那么顺序按动ATT键1、2、3次衰减6dB、12dB、18dB后信号将依次降为S8、S7和S6，这显然便于进行信号比较和给出对比报告。同时，这意味着在50Ω的接收机负载上，接收到对方信号的强度从50μV对半再对半，依次降到25μV、12.5μV和6.25μV，也就是每降低一个S字和6dB，信号实际强度降低到原来的一半。而如果衰减是10dB、20dB、30dB的话，信号的实际强度将从50μV降低到15.8μV、5μV和1.56μV，显然此数值并不方便对比。表2给出了S表刻度和信号强度的对照，现代商品接收机的信号强度表的刻度都是按照这个标准标定的。因为HF频段的各种电磁噪声比较多，所以HF接收机的S表刻度所对应的输入信号功率比VHF/UHF接收机提高20dB标定。

表2 S表刻度和信号强度对照表

S表刻度	对应的HF收信机输入信号（输入阻抗50Ω）		对应的VHF/UHF收信机输入信号（输入阻抗50Ω）	
	DBm	μV	dBm	μV
S59+20dB	−53	500.00	−73	50.00
S59+10dB	−63	158.11	−83	15.81
S9	−73	50.00	−93	5.00
S8	−79	25.00	−99	2.50
S7	−85	12.50	−105	1.25
S6	−91	6.25	−111	0.63
S5	−97	3.12	−117	0.31
S4	−103	1.56	−123	0.16
S3	−109	0.78	−129	0.08
S2	−115	0.39	−135	0.04
S1	−121	0.20	−141	0.02

火腿操作入门



户外通联进阶（上）

◎方明（BA6AA）

金秋十月，秋高气爽，让我们放飞心情，扑向大自然的怀抱吧！

火腿们去野外“放风”，自然要用自己的方式，那就是Field Day（户外通联日）。带上自己心爱的业余电台设备，或背包独行，或驾车远足，在蓝天白云下激荡电波，放飞心情，和远方的新朋旧友沟通联络，互道一声问候，这样的快乐，不是火腿的朋友是难以感受和想象到的。

图1是1920年8月号的《QST》杂志封面。闲暇时间，约上好友，来到森林中，小湖边，搭好帐篷，支起电台，架好天线，戴上耳机，拨动电键开始呼叫——由此可见，户外通联活动至少已有近百年历史。

进阶知识

Q简语和ARRL的《QST》杂志

图1《QST》杂志

如今的新火腿们，大都是从购买商品业余电台尤其是超短波电台（对讲机或车台）开始起步的，常用的通联模式是语音和数据通信。但100年前，爱好者们只能从自制CW收发信机开始他们的火腿之路。在语音通联时，我们可以说任何想说的话，例如：“请问你的地理位置在哪里？”“我在北京市西三环莲花桥附近”。但在CW通联时，拍发这么多的字符是相当麻烦的，费力费时。使用手键拍发What is your location?（你的地理位置是哪里？）共需要按动电键55次。为此，火腿们发明了一些以字母Q开头的三字母代码，用来代替CW通联中的一些常用对话，这些代码就叫作Q简语（又称Q代码，Q缩语），例如上面这句话的Q简语是QTH？——发这三个字母加个问号只需按动电键15次。根据实际情况，Q简语可以用来询问，也可以用来回答，以QTH为例，它的意思可以是“你的地理位置是哪里？”，也可以是“我的地理位置是……”。Q简语有大约100个，比如常用的QRA、QRL、QSO、QTH等。

图2 ARRL的总部电台W1AW

QST简语是拍发通联电报前的呼叫。例如XGA电台有报文发给相应业务的所有其他电台，可以在拍发报文之前呼叫：“QST de XGA”。《QST》杂志由美国业余无线电转播联盟（ARRL）创办于1915年，至今已有94年历史。除《QST》月刊外，ARRL还出版许多覆盖通信和业余无线电各个方面的出版物。人民邮电出版社出版的中文版业余无线电丛书即出于此。

图3 1998年5月，安徽爱好者举办巢湖水上移动通信实验

户外通联有多种方式和玩法，可以和休闲旅游、驴行宿营、越野一族、模型比赛相结合，“家腿”、“车腿”、“驴腿”、“模腿”们可以各取所需，是火腿们最喜欢的通联方式之一。下面，笔者结合自己组织和参加户外通联活动的经历和感受，对不同活动方式进行简单归纳，并给出参考建议。

户外通信实验

这是火腿们最常用的户外通联活动方式之一，特点是参加者多为爱好者，以架设电台和检验、测试通联效果为目的，一般会要求交换QSL卡片，需要多人协作以完成团队目标。

户外通信实验以架设电台和检

图4 重量仅2.1kg的YAESU FT-857D

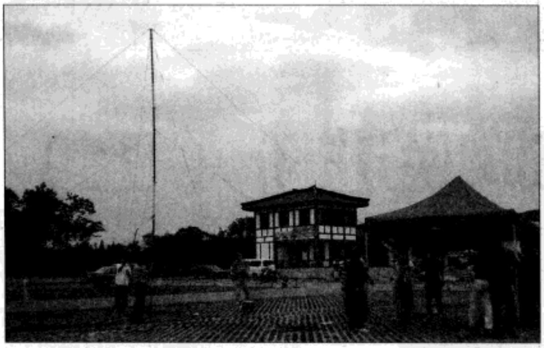


图5 安徽爱好者正在架设户外通信倒V天线

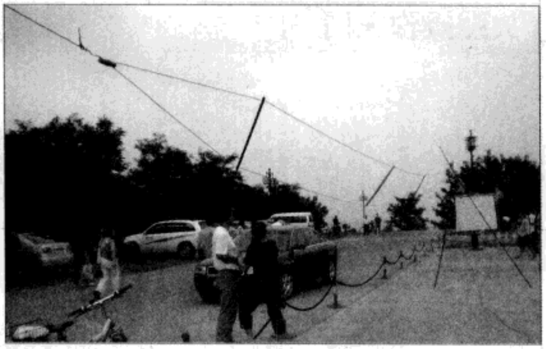


图6 使用降低高度架设的偶极天线有利于近距离国内电台通联

验、测试通联效果为目的，对电台设备、快速天线和临时电源有一定的要求。为保证有效通联，一般采用便于携带的100W的短波电台，YAESU FT-857D（见图4）、ICOM IC7000等设备是理想选择；天线一般采用可快速拆装的偶极天线，尤其是只需要一根支撑杆的倒V天线（见图5）或正V天线；电源则可选择大容量蓄电池、发电机或直接从汽车电瓶取电。

为了成功完成活动，除户外活动通用的注意事项外，还需要注意以下两点：

团队成员需要有明确分工，分工合作可有效提高设台和通联效率；

设备要落实到人，以免需要焊接的时候才发现没人带烙铁；各种连接线、接插件、绑扎带等零碎物品一定要带够，出发前检查维护好发电机等设备，避免临时没油、输出电压不正确等意外。

对户外通信实验活动的一点建议：

首先，为保证通联效果，应根据通联距离合理选择和架设不同种类的天线。如果通联对象是半径数百千米以内的中短距离电台，应使用倒V天线或靠近地面架设的偶极天线(见图6)，以获得较高的电波入射仰角，从而有利于近距离通联。

其次，移动电源是户外通信实验活动的重要设备之一。综合考虑便利性、经济性和实用性，笔者推荐的顺序为：汽车电瓶直接取电、10.8V/10Ah锂电池组、12V/38Ah免维护蓄电池、1kW以内的小型汽油发电机。实践证明，汽车电瓶取电是最方便实用的户外短波电台供电方式，曾有爱好者担心直接使用汽车电瓶为电台供电会导致电瓶亏电，汽车不能打火。经实测，每两小时怠速充电15min左右即可，正常操作时不需要将汽车引擎常开。锂电池组的优点是体积小、重量轻、高便携性，特别适合单兵作战。笔者曾用DIY的10Ah锂电池组（3.6V/2.8Ah锂电池12块，三串四并）为YAESU FT100供电，在正常收发比的操作下可持续工作6个小时，而重量还不到1kg。12V/38Ah免维护蓄电池（见图7）常用于夏利等国产小型汽车上，体积约20cm × 17cm × 17cm，重量约13kg，价格260元左右，是久经考验的野外通联可靠电源。使用时，应在电瓶正极串入30A保险管，避免电线短路引发火灾。之所以不推荐20Ah的电瓶，是因为这个规格多用于电动自行车，质量良莠不齐，容易买到假货。

图7 12V/38Ah密封免维护蓄电池

小型汽油发电机体积不大、使用方便，也是火腿们户外通联常用的移动电源，但笔者根据个人经验建议慎重购买。原因是额定功率低于700W的超小型汽油发电机因成本问题，绕组线圈大多是铝线的，寿命有限，且输出电压不稳定，带负载能力差；高于2000W的油机体积大、重量重、价格高，不适合火腿做户外通联使用，比较理想的ET950型（额定功率950W，实际有效负载约400W）。无论国产还是进口的，为降低制造工艺和成本都是采用转子无刷电容励磁方式，没有AVR（自动电压调节器），是用电容器与电机的励磁绕组并联，电压全靠发动机的转速稳定，使用时需特别小心。笔者就亲身经历过该型号发电机

图8 1000W四冲程小型汽油发电机

输出电压升到300V，把电台的线性稳压电源烧坏的事情。此外，这种化油器发电机不使用时每隔1~2周还需要定期发动机器和维护油路及化油器。950型发电机净重约13kg，加注燃油后约15kg，重量并不比12V/38Ah电瓶轻。总的说来，这种小型油机适合带照明、风扇等负载，不适合为精密设备供电。如确需购买，建议选购四冲程引擎的发电机（见图8），其油耗、稳定性、噪声都显著优于两冲程引擎，只是价格较高。另外注意，不要购买变频发电机，其变频电路的电磁辐射会对短波接收产生严重干扰。

最后，活动的目的是通联、交流、提高而不是探险，所以应选择安全地点设台，消除不安全隐患。

应急通信演习

业余无线电服务社会的一个重要方面就是应急通信，定期举办各种应急通信演练，已经成为各爱好者协会的主要活动内容。

应急通信演习的中心思想是突发意外事件的时候，在最短时间内建立起有效的通信网，并准确传递信息。活动以快速架设电台、检验和锻炼应急通信能力为目的，对个人全能素质有较高要求。紧急情况下需要分秒必争，因此要求爱好者具备良好的设备安装调试能力、通联能力、对环境的适应能力、自我救护能力和应急处理能力。参加应急通信演习，对爱好者是学习，是锻炼，是挑战，更是提高

图9 江苏省无线电通信应急演练活动主控台（BA4RC陈方摄）

技术能力的难得机会。

应急通信演习和户外通信实验活动最大的不同是强调快速准确地传递信息。除了正常的信号报告之外，通联双方应交换由以下信息字段组成的报文（以下称格式报文）：

可用频段（B）、操作员数量（O）、电台类别（C）、应急电源类型（P）、地区编码（用所在城市或乡镇的汉语拼音缩写，推荐比照采用民航版城市三字母缩写规范，如南京NJG、合肥HFI）。

如南京的BY4RSA，主控，可用波段为15m、20m、40m、2m和0.7m，有5个操作员，备有汽油发电机，对应的报文就是：B15 B20 B40 B2 B0.7 O5 CA P3 NJG；合肥的BA6AA，作为便携电台，只用2m波段，单独操作，使用电池，对应的报文就是：B2 O1 CC P1 HFI。在使用报和数据模式时，要求严格按照以上格式报文传送；使用话模式时，鼓励大家严格使用格式报文进行传送，但允许使用日常的中文语言来交换相关信息，如以下格式报文：B15 B20 B40 B2 B0.7 O5 CA P3 NJG，在实际话通联中可以说成：“工作波段15m、20m、40m、2m和0.7m，有5个操作员，A类电台，使用发电机，地点位于南京”。但无论在通联过程中使用字母解释法传送格式报文还是使用日常语言来描述，在登记日志的时候均要求使用格式报文。

对火腿们参加应急通信演习活动的一点建议：

☆如有可能，尽量以个人或2~3人的小分队形式报名参加活动，争取一个人完成选址、设台、调试、通联、转信、后勤自助的全过程，可以全方位地锻炼自己，发现不足，从而加以弥补和提高；

☆准备个小笔记本，随时记录遇到的问题，虚心向其他爱好者请教，活动后做好总结工作；

图10 2004年CRSA“探路者”杯应急通信与抢险对抗赛上，“女HAM联队”获最佳风尚奖

☆学习掌握必要的自我保护知识，锻炼自我救护能力，牢记自己安全才能帮助别人。

周末踏青通联

相对于紧张充实的户外通信实验和应急通信演练，周末踏青通联实在是非常轻松愉快的QSO之旅。该活动的特点是：在休闲活动中辅助进行的通联活动，以休闲放松为主，使用频率以U/VHF为主，无技术和任务要求，一般不需要交换QSL卡片。周末踏青一般以近郊远足、登山放松、骑车锻炼等形式居多，对于城市一族的火腿来说，是很好的检验UV波段直线传播通联效果、对比测试天线增益的理想环境。笔者在本系列文章的第1期就讲到了，建筑物和汽车不仅会吸收电波的能量造成信号衰减，也会反射电波。在复杂环境下电波经过多次反射和叠加到达接收机时会产生多径衰落，如果电台在移动中，还会产生多普勒频移衰落；现在好了，利用周末踏青的机会，顺便进行一下呼叫和通联，你

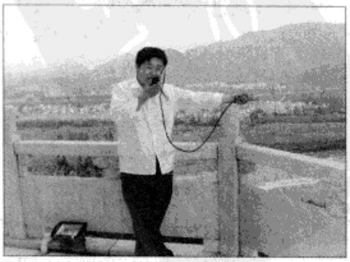


图11 周末踏青时进行UV手持通联

会惊奇地发现，往日在城市里5W功率都难以完成的QSO，现在只需要0.5W功率就可轻松完成。如果您满头大汗地爬到山顶，更会惊喜地发现，使用一部手台竟然可以打开相距几十甚至上百千米以外其他城市的中继台，完成和异地火腿的QSO！——既放松了心情，锻炼了身体，又完成了新的QSO，认识了新朋友，火腿的周末踏青之旅，总是可以收获更多！

周末踏青通联只能使用UV波段吗？答案当然是否定的，因为现在我们有了高便携性的HF波段设备可以选择，代表机型就是YAESU FT-817ND。

图12 YAESU FT-817ND

图13 FT817的安装盒（BG4AJU摄）

图14 FT-817ND便携背包

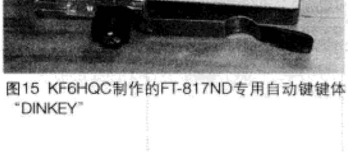


图15 KF6HQC制作的FT-817ND专用自动键键体“DINKEY”

FT-817ND是一套自带电池供电的便携式收发机，覆盖全部常用的HF、VHF和UHF波段。作为全段全模式小型机的新里程碑，可在所有波段提供5W的功率输出，内置自动键，并兼容SSB、CW、AM、FM、Packet、RTTY和 PSK31 等所有常用模式。在你下次的踏青、野营或驴行计划中带上不到1.2kg重的FT-817ND 吧，它一定能给你带来前所未有的惊喜！

因为其小巧、便携、全段全模式、使用方便等特点，FT-817ND拥有大批火腿“粉丝”，向互联网搜索可以方便地找到以其为专题的网站、论坛、QQ群等。配套的各种附件也层出不穷，图13~15给出了一些实例，如安装盒、背包、自动键等。

用自动键键体“DINKEY”

FT-817ND是一种适合野外使用的便携短波台，5~10W的功率配上一副调谐良好的天线，在野外可以获得实用的通信效果。但同时不可否认，使用小功率QSO会对操作者有较高的要求，要想取得良好的成绩，除了良好的传播和谐振的天线外，耐心和技巧同样也很重要。哈罗CQ火腿社区（www.hellocq.net）上面有很多使用FT-817ND的高手，建议多去学习取经。

作业1 学习掌握常用的Q简语，练习在QSO中使用。

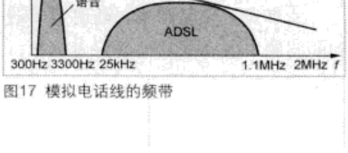


图17 模拟电话线的频带

图16 BA6QH/QRP使用FT-817ND通联到的墨西哥雷维亚希赫多群岛XF4DL的卡片

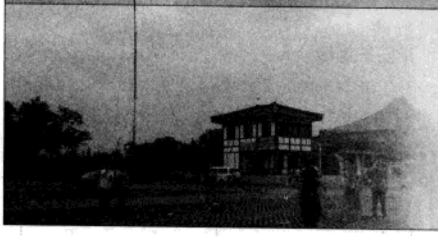
【QSL 卡片说明】雷维亚希赫多群岛虽然隶属于墨西哥，但却是一个单独的 DXCC 字头，德国的 6 位爱好者和来自墨西哥的 10 位爱好者组成的远征小组于 2006 年在该群岛中的 sokoro 岛作 IOTA 操作。对方操作员在一群强信号里听到了 /QRP 的后缀，就反复点名 QRP，直至那些强台都停下来并抄收 QRP 电台的呼号做了 QSO 以后才重新开始。在业余无线电的世界里，尊重小功率电台、YL（女士）电台是永恒的风范。

作业2 准备好自己的装备和器材，积极参加应急通信演习活动。

【2009 年第 9 期作业答案】

原来在传统的固定电话系统中，从固定话机终端到交换中心的双绞线路系统，所能提供的通信带宽可以到2MHz以上，其中我们的语音通信只使用了从300～3300Hz的频段，使用的通信带宽约为3kHz。现在，基于双绞线传输的xDSL接入网技术，能够充分使用语音带宽以外的频率，高速传送数据业务，实现宽带网接入。如图17（图中，300～3300Hz为语音通信频带，25kHz～1.1MHz为ADSL频带，所以ADSL需要接个语音数据分离器，其实就是低通和高通滤波器)所示，根据香农定理，传统的音频MODEM仅使用了B=3kHz的音频带宽进行调制解调，所以其数据传输率C非常有限；而ADSL MODEM则使用了B=1MHz的高频带宽，根据香农定理可推算出其数据传输率C高达近10Mbit/s。

火腿操作入门



户外通联进阶（下）

◎方明（BA6AA）

我国业余无线电爱好者群体近年来发展迅速，但跟日本平均100名国民中就有一名火腿、美国平均400名国民中就有一名火腿相比，我国的火腿群体还是比较小。积极开展业余电台宣传展示活动，让更多的人了解和喜欢业余无线电，走上学习和研究无线电通信技术的道路，对于提高公民科学素质，建设创新型国家有着重要的现实意义。

业余电台宣传展示活动的特点是：参加者多为爱好者，以架设电台通联进行宣传展示为目的，可交换 QSL 卡片，一般在小区、公园和闹市等人多区域举行。时间短，一般为半天到一天，可结合科普活动日、学校科技活动周、节假日和大型庆祝展览等活动共同举行，以取得事半功倍的效果。

举办业余电台宣传展示活动需要注意电源问题。因临时用电存在不确定性，需要提前确认和测试，避免活动开展的时候才发现电源线不够长、取电点故障、临时停电等问题。建议比照应急通信演习的规格，准备和使用蓄电池、发电机等应急电源；

驴友活动通联

“驴友”就是户外运动的爱好者，尤指背包客，就是那种背着背包，带着帐篷、睡袋穿越、宿营的户外爱好者。在我国开展的主要户外运动包括远足、穿越、登山、攀岩、漂流、越野山地车等。驴友活动中多数带有探险性，属于极限和亚极限运动，有很大的挑战性和刺激性。随着人们生活水平的提高，户外运动和驴友活动越来越受欢迎，日益成为关注的焦点。

因为户外运动的探险性和不确定性，对业余无线电的需求自然就提上了桌面。一个经典的镜头是：美国大片《垂直极限》中，女主角Annie Garrett不慎跌入雪窟被困，到基地的距离超出了对讲机的语音传递极限，她和哥哥Peter Garrett使用按动对讲机发射键产生的咔嗒声发射莫尔斯电码，完成了信息的沟通和传递，最终获救。2005年1月4日凌晨0：30，北京传奇无线俱乐部接到中国无线电运动协会的紧急电话，说北京某户外俱乐部的15个人在小五台山失踪，知情人报警寻求各方面的救援，特别是请求大功率无线电搜救设备和专业人士前往救援。40分钟内，应急通信救援队迅速组成，一行30多人、6辆机动车于4日凌晨1点多出发，连夜赶往300km以外的河北小五台山区。经过数小时的无线电搜索和呼叫，上午9:30左右终于与山上被困人员建立了联系，并指挥被困人员用GPS定位仪锁定了位置，营救队在无线电台的引导下沿有效路径，在最短的时间内将被困人员成功营救。

驴友活动通联的特点是：在休闲活动中进行的通联活动，一般不需要交换QSL卡片，以UV波段手台为主，无技术和任务要求。但是，要想在关键的时候无线电能救命，恐怕还是要咬牙学习一些系统的知识，如不同频率电波的传播特性、莫尔斯电码、紧急呼叫程序等。

对于驴友活动通联而言，首要的

图1 合肥市爱好者在中国科技大学校园举办业余电台宣传展示活动

图2 芜湖电视台记者采访参加业余电台宣传活动的火腿BG6BKV

图3 参加小五台救援的HAM英雄们

建议是选择一部好用的手台，如果您是“头驴”或者“带路驴”就更为重要。驴子的手台需要防水、防震，如YAESU VX-8R等型号。需要注意的是：绝大多数业余手台不支持低温使用（环境温度低于零度），因为大多数锂电池在低温环境下不能放电。如果需要参与攀登雪山、冬季穿越这样的极限活动，建议还是配备MOTOROLA GP338plus等专业手台，可在-20℃环境下正常使用。其次，应注重锻炼团队无线调度能力，在活动中让更多的人熟练掌握通过手台完成快速有效的信息传递的能力。最后，对于组织者而言，则需要制定一个应急通信保障预案，并在活动中加以演练，在演练中不断完善。

自驾游通联

随着私家车的普及，车友们结伙自驾车出游的越来越多。为了方便出行，协调车队行驶、保证行车安全，越来越多的车友购置车台和手台，加入到业余无线电爱好者的队伍中来。自驾游通联的特点是：通联主要以协调车队行驶、报路况为目的，仅使用UV波段，无线电“菜鸟”较多，一般不交换QSL卡片。

自驾游通联需要注意的问题：

首先，通联时需特别注意不要影响行车安全。据笔者不完全统计，超过半数的“车腿”走过的路子是：手台—手台+车载天线和车充取电—车台。估计大部分朋友是出于成本等因素考虑的，先花少量的钱购买一个手台，参加了几次活动后发现通联距离和效果不理想，又不愿意闲置，于是加配车载天线和车充继续使用，过了一段发现使用的确不方便，还得咬咬牙重新购置车台。抛开重复投资不谈，抓着手台边通话边换挡驾驶是很不安全的，有车腿曾经出现过手台不小心掉落后卡在刹车踏板上的危险情况，使用手台加车载天

图4 摩托罗拉GP338plus专业对讲机

线固然可以增加通联距离，但一边开车，一边操作拖着两根电线（馈线和电源线）的手台，其实安全隐患更大，馈线和电源线可能缠绕到换挡杆、方向盘甚至刹车和油门踏板上，强烈建议不要这样操作！

其次，因参与自驾游通联的新手较多，相当一部分甚至此前从未使用过无线电台设备，建议在出发前进行操作和通联的简单培训，提醒大家要规范通联，文明用语，不要使用业余电台进行嬉笑打闹。业余电台是国家让业余无线电爱好者用来自我训练、研究技术和互相通信、以及在突发灾害时救死扶伤为社会服务用的，不允许做其他用途。车族里的业余无线电爱好者可以“互相通信”，但是业余电台的本质不是汽车俱乐部或者其他群体的通信工具，进入业余电台的领域，必须承认和遵守业余无线电的规则。

进阶知识

IP防护等级

IP（Ingress Protection，进入防护）防护等级由国际电工委员会IEC（International Electro Technical Commission）发布，用来标定电气或电子设备的防尘防水能力。防护等级多以IP后跟随两个数字来表述，数字表示防护等级的高低。第一个数字表明设备抗微尘的范围，从0到6共7级，最高级别是6；第二个数字表明设备防水的程度，从0到8共9级，最高级别是8。防尘等级各级别的定义是：

0：没有保护

1：防止平均外径大于50mm的物体侵入

2：防止平均外径大于12.5mm的物体侵入

3：防止平均外径大于2.5mm的物体侵入

4：防止平均外径大于 1mm 的物体侵入

5：虽不能完全防止灰尘侵入，但侵入的灰尘量不会影响设备的正常工作

6：完全防止粉尘侵入

防水等级各级别的定义是：

0．无保护

1．防滴I型

垂直落下的水滴无有害影响

2．防滴II型

与垂直方向成15°范围内落下的水滴无有害影响

3．防雨型

与垂直方向成60°范围内降雨无有害影响

4．防溅型

受任意方向的水飞溅无有害影响

5．防喷射型

任意方向直接受到水的喷射无有害影响

6．耐水型

任意方向直接受到水的强烈喷射无有害影响

7．防浸型

在规定的条件下即使浸在水中无有害影响

8．水中型

长时间浸没在一定压力的水中无有害影响

例：某对讲机标示为IP65，表示产品可以完全防止粉尘进入及可用水冲洗无任何伤害。

再次，对自驾游通联而言，头车和尾车的通联任务最重要，建议挑选设备配置较好的车辆担任，同时最好由通联经验丰富的火腿担任副驾，专门负责报路况和行进调度，以解放驾驶员，提高行进效率。

最后，随着自驾游的俱乐部和车队越来越多，业余频率日见拥挤。有些俱乐部公开声称某某频率是本俱乐部专用频率，非本俱乐部成员不得使用，甚至指责压制其他“闯入”他们“私有频率”的爱好者，这是一种非常无知和错误的做法。业余频率归全体业余无线电爱好者共有，在430~440MHz频段，业余业务还是作为次要业务和其他业务共用的，必要时必须避让其他主要业务。任何人无权干扰其他合法使用者，请新朋友们一定要注意啊。

如果您是一名有私家车的火腿，还经常参加自驾游活动，建议您还是配备车载电台。有关车载电台的安装和使用可参考本刊今年第3期《车台使用进阶》一文。

附表 户外通联常见方式总结

活动形式	常规持续时长	特点	适用人数	适用波段	注意事项
户外通信实验	1天	参加者多为爱好者， 以架设电台和检验、测试通联效果为目的， 一般会要求交换QSL卡片， 需要多人协作以完成团队目标	3~20	HF+UV	团队需明确分工，注重后勤保障工作， 活动应有明确计划和应急方案， 地点选择应避免安全隐患，活动时注意安全， 根据通联距离合理选择和架设不同种类的天线。
应急通信演习	1~2天	参加者多为爱好者， 以快速架设电台、检验和锻炼应急通信能力为目的， 可交换QSL卡片	多人多点	HF+UV	重视机动性、可靠性， 重视培养单兵全能作战能力， 掌握必要的自我保护知识， 事后做好总结工作。
周末踏青	1天	在休闲活动中进行的通联活动 以UV为主，无技术和任务要求， 一般不需要交换QSL卡片	1~3	UV	对比城市移动通信的异同进行总结提高， 检验高度和环境对UV传播的影响， 对比测试天线增益的理想环境。
业余电台宣传展示	1天	参加者多为爱好者， 以架设电台通联进行宣传展示为目的， 可交换QSL卡片， 一般在小区、公园和闹市等人多区域举行	3~10	HF	注意解决电源问题， 印刷制作必要的宣传材料， 做好和新闻媒体的对接工作。
驴友活动	2~3天	在休闲活动中进行的通联活动， 以 UV 为主，无技术和任务要求， 一般不需要交换QSL卡片	3~20	UV	注意设备的防水、低温、防震等安全问题， 锻炼团队无线调度能力， 注意制定应急通信保障预案。
自驾游	2~10天	以协调车队行驶、报路况为目的， 菜鸟较多，主控需细致耐心， 一般不交换QSL卡片	3~20	UV	因新手较多，需要一定的培训， 通联时需特别注意请勿影响行车安全， 规范通联、文明用语。
社会服务（大型活动通信保障等）	1~3天	以提供通信服务为目的，快速、准确传达信息， 参加者多为爱好者，对QSO能力有一定要求， 一般不交换QSL卡片	10~30	UV	注意人身财产安全， 注意后勤供应和士气补充， 充分考虑各种意外，制定完善的应急预案。

社会服务通联

在举办展会、比赛、庆祝游行、纪念集会等大型活动时，经常会出现家人走散、外地人迷路、跌扭受伤、物品丢失等意外情况，急需通信保障，此时往往是火腿们大显身手，回报社会的大好时机。比如，台北市的火腿们每年在元宵灯会的时候，都会组织起来，协助警署和义工组织寻找因贪看花灯而不小心走失的儿童，先后已经成功寻回数百名孩子，受到社会褒扬；江苏爱好者经常为青少年测向锦标赛等各种体育赛事提供义务通信服务；大连爱好者每年都为大连国际徒步大会提供全程志愿通信保障服务。

社会服务通联的特点是：

以提供通信服务为目的，要求能够在嘈杂背景噪声下，快速、准确传达信息；参加者多为爱好者，对QSO能力有一定要求，以UV波段手持台为主，一般不交换QSL卡片。

参加社会服务通联要检查好电台设备，带齐耳麦、备用电池、备用天线、充电器等配件，如活动在夜晚举行，应佩戴头灯、穿有反光条的外衣。

本期文章的最后，我们将户外通联常见方式总结为附表，供大家参考。

图5 新奇军（奇瑞车友会）车队行进在援建汶川地震灾后希望小学的路上

图6 大连火腿为国际徒步大会提供通信保障

作业1 如果您是一位驴友火腿或车友火腿，请拟定一个活动应急通信保障预案，发到hellocq.net上和大家交流一下；

作业2 查找资料，了解一下专业对讲机和业余对讲机在指标上有哪些差异？

火腿操作入门

IOTA 通联进阶

◎方明（BA6AA）

在业余无线电广阔的活动和探索空间里，有一项受广大火腿热捧和追逐的活动，那就是IOTA。

什么是IOTA

IOTA是Islands On The Air的缩写，意为“空中之岛”活动计划，是一个旨在鼓励业余无线电爱好者与全世界岛屿业余电台联络的活动，其本质是一种业余无线电活动和竞赛的“游戏规则”。根据“岛”的定义，除了七大洲之外的陆地都是海岛，包括格陵兰岛、英国、马达加斯加和中国海南岛等国家和地区。全球岛屿总数达5万个以上，总面积约为997万平方千米，大小几乎和我国面积相当，约占全球陆地总面积的1/15。相当一部分海岛景色优美且无人居住，自然也就没有经常工作的业余电台。可以想象，如果业余无线电的空中突然出现了属于这个海岛的全新呼号，肯定会备受关注和热捧——这就是IOTA诞生的原动力。

1964年，IOTA规则由英国著名的短波收听爱好者Geoff Watts提出。1985年，英国无线电协会RSGB(Radio Society of Great Britain)接管并完善了这一计划，成立了IOTA委员会。根据地理位置，IOTA委员会将世界的岛屿划分为1200个左右的岛组，赋予有业余电台活动的岛屿以特定的编号，并设计了奖项，制定了竞赛规则。

IOTA岛屿编号

符合IOTA规则的岛屿都将获得一个唯一的IOTA岛屿编号，如同DXCC分区一样。如果您通联到了一定数量的IOTA岛屿，则可以申请相应的奖状和奖杯。不是所有的岛屿都可以获得IOTA岛屿编号，符合获得编号的条件是：

◆ 岛屿必须位于开放的海洋之中，而不得位于湖中或江河之中。岛屿必须是自然形成的，而非人工建筑。岛屿必须在海水高潮的时候依然在海平面以上，并且拥有被承认的岛名；

◆ 必须与大陆有一定的距离（低潮时与大陆最近点不少于200m），如果岛屿与大陆之间有桥连接，只要岛和桥下的水面符合200m规则，该岛依旧符合IOTA的要求；

图2 带有IOTA标记的QSL卡片

图1 IOTA标记

◆ 岛屿没有大小限制，但必须在1:1 000 000比例的地图上标注出来。

符合以上条件的岛屿，如果有渔业电台或业余无线电DX远征队在这些岛上进行联络活动，并达到一定数量后，IOTA委员会将为该岛组确定一个编号。岛组根据官方颁布的名字或其地理位置命名，如我国的“黄岩岛”是按其正式的岛名命名，而“浙江南部岛组”是根据这些岛的归属地命名的。编号由该岛屿所在大洲的英文缩写加序号组成，缩写为：亚洲（AS）、欧洲（EU）、非洲（AF）、北美洲（NA）、南美洲（SA）、大洋洲（OC）和南极洲（AN），序号以申请先后排列。如浙江省洞头岛属于浙江南部岛组，IOTA编号为AS-141(AS为亚洲缩写，141为顺序号)。为避免编号过于庞大造成通联不便，IOTA委员会决定，全球岛组数量不超过1200个，这一决定导致许多相距遥远的岛屿被划入同一岛组。

世界上所有岛屿都能从

《IOTA岛屿录》中查到，而是否有过业余无线电联络则从其有无编号可以得到。在RSGB IOTA委员会的网站上也可查询到岛组的简要情况及近期该岛组的业余无线电活动的记录。

IOTA标记

图1是IOTA委员会提供的IOTA标记。椰树和海水的图案形象地说明了IOTA活动的特点。该标记应该被印刷在符合IOTA通联的QSL卡片上。

中国IOTA岛屿的具体分布

经过几年的国内爱好者的共同努力，我国所有的岛屿分组均取得了相应的岛屿编号，见表1。可以看出，早期的岛屿编号是以港、台、澳地区为主的。爱好者在日常的活动中，只要在相应组别的范围内进行岛屿通信，都可以使用对应的岛屿编号。如BA6AA移动到海南岛ON AIR，可以这样呼叫："CQ CQ CQ THIS IS BA6AA/7 AS094 BA6AA/7 AS094 CALLING CQ AND STANDING BY"。注意：此时所做的QSO在交换卡片时，必须采用特制的、印刷有IOTA标记和IOTA岛屿编号的卡片，便于对方用于申请IOTA奖状。

IOTA活动常用频率

IOTA活动的主要频率是14.260MHz和21.260MHz SSB。此外，SSB还有28.460MHz、24.950MHz、18.128MHz、7.055MHz和3.755MHz；CW频率是28.040MHz、24.920MHz、21.040MHz、18.098MHz、14.040MHz、10.115MHz、3.530MHz。CW在7MHz波段上没有特定的频率，但在对北美开通时一般推荐在7.025MHz以上工作。

上述频率并非为IOTA网络或岛屿联络所专用，而是在没有冲突的前提下正常地共用这些频率。IOTA远征并不一定必须使用这些频率，应以远征公告的工作频率为准。

IOTA远征

IOTA远征所有DX远征中最激动人心的活动之一。每年都有许多火腿克服种种困难，来到分布于世界各地的海岛上架设电台进行呼叫和通联。由于大多数海岛远离陆地，交通不便甚至缺乏必要的生存条件，要想进行一次成功的IOTA远征，必须要有周密的计划和充分的准备，同时也离不开整个

表1：中国IOTA岛屿编号

岛屿编号	组别	创建/远征者	创建/远征时间	北纬	东经	备注
陀	香港岛			22.12~22.57	113.82~114.42	因该区域内存在半岛，IOTA操作需标明在岛屿上
AS-020	台湾岛			21.83~25.35	120.00~122.00	
AS-051	南沙群岛			6.00~12.00	111.00~117.00	截止目前尚无中国火腿ON AIR
AS-075	澳门岛			22.07~22.27	113.53~113.67	因该区域内存在半岛，IOTA操作需标明在岛屿上
AS-094	海南岛组	BD7YO/7	1997.1	18.00~20.20	108.50~111.50	
AS-102	金门岛	BV0ARL	1992.12	24.35~24.52	118.20-118.60	
AS-103	澎湖群岛	BV4AS/7	1993.3	23.13~23.80	119.25~119.75	
AS-110	东沙岛	BV9P	1994.1	20.58~20.83	116.58~116.92	
AS-113	马祖群岛	BO0M	1994.7	25.93~26.42	119.92~120.63	
AS-116	黄岩岛	BS7H	1994.6	15.07~15.17	117.75~117.92	已有4次远征
AS-129	广东东部组	BD7JA/7	1997.8	21.70~23.70	113.85-117.18	含外伶仃岛、南澳岛
AS-131	广东西部组	BD7JA/7	1997.10	20.20~22.75	109.58~113.85	含川山群岛、荷包岛
AS-134	河北/天津组	BI3H	1998.4	38.27~38.98	117.55~119.83	含石臼陀岛
AS-135	江苏组	BI4Q	1998.6	31.67~35.07	119.18~121.93	含平岛
AS-136	上海组	BI4C	1998.7	30.72~31.87	121.32~121.93	含崇明岛
AS-137	浙江北部组	BI5Z	1998.7	29.00~30.92	120.33~123.00	含舟山群岛，韭山列岛，嵊泗列岛等
AS-138	福建组	BI5P	1998.8	23.50~27.13	117.18~120.75	含平潭岛，南日岛，四礵列岛等
AS-139	广西组	BI7W	1998.8	20.20~21.67	108.00~109.77	含涠洲岛，斜阳岛
AS-141	浙江南部组	BI5D	1999.4	27.13~29.00	120.45~122.33	含洞头岛，台州列岛，一江山岛，渔山列岛等
AS-143	西沙群岛组	BI7Y	1999.9	15.00~17.50	111.00~113.00	含永兴岛
AS-146	山东东北部组	BI4L	2000.5	37.00~38.45	120.00~122.75	含长岛，庙岛群岛，隍城岛等
AS-150	山东南部组	BI4S	2000.7	35.07~37.00	119.30~122.60	含灵山岛
AS-151	辽宁西部组	BI2J	2000.8	38.67~40.92	119.83~122.27	含菊花岛，长兴岛
AS-155	台湾沿岛	BV0O	1994.10	21.58~25.92	119.92~122.25	含绿岛，兰屿
AS-158	辽宁东部组	BA4DW/2	2001.5	38.67~39.83	121.17~124.17	含长山群岛，大鹿岛，石城岛
AS-160	山东西北部组	BI4F	2001.9	37.15~38.30	117.82~120.00	含芙蓉岛
AS-194	钓鱼岛			25.67~26.00	123.42~124.67	截止目前，尚无中国火腿ON AIR

【注】本表部分资料由BA4ALC和JSDXC提供，一并感谢！

图3 1954年，FO8AJ团队远征克里伯顿岛（Clipperton Island）

远征团队的分工协作和拼搏进取。

进阶知识

业余无线电DX远征

“DX远征”一词DXpedition是火腿的创造。远征原词为expedition，DX是远距离Distant eXchange的缩写，意为远距离信息交互。火腿们把两个词揉合起来，创造了DXpedition一词，用于特指火腿们带上电台天线等装备，去到罕有业余无线电活动的地方，如戈壁、雪山、冰原、荒岛等人迹罕至、条件艰苦的远方，架设电台，挑战自我，完成预定通联目标的业余无线电远征活动。由于DX远征队到达目的地后将使用该地区字头的业余电台呼号进行工作，而该地区在除了远征队到来的时间之外都往往没有业余电台信号，所以去稀有DXCC地区的远征队（如黄岩岛远征队）可以为全世界的爱好者创造十分难得的联络和获得DXCC珍稀字头卡片的机会，往往会成为成千上万火腿追逐的对象。每次这样的远征都牵动着无数火腿的心，成为业余界激动人心、数一数二的大事。

符合下列条件者可定义为IOTA远征：

1. 所远征海岛是只能靠乘船或空中航行才能到达的海岛（凡是有桥梁、人工堤/或自然堤可以通达的均不合DX远征海岛要求）；

2. 远征操作者中没有岛上的常驻人员；

3. 所有DX远征所用的设备及天线必须是自带上岛，不可使用岛上人员提供的设备及天线等。

中国火腿IOTA远征活动简介

1998年，北京、上海、江苏、福建、广西、广东等地的DX爱好者分头行动，先后组成多支IOTA远征队，先后登上了石臼陀、平岛、长兴岛、舟山岛、涠州岛、平潭岛、小洋岛、长岛等8个海岛，获得了6个新的IOTA海屿编号（详见表1）。不但一举填补了我国岛屿在国际IOTA活动中的不少空白，使国内不少火腿认识了DX远征和IOTA，锻炼了远征队员们的通信水平，同时也展示了我国业余无线电爱好者的活力，受到了国际业余无线电界的关注和好评。1999年4月底，来自京、沪、苏、浙、粤、闽、皖7个省市的26名爱好者组成IOTA远征队，使用BI5D呼号在浙江南部的洞头岛进行呼叫。按照事先拟定的计划，架设6部HF电台和

图4 1999 BI5D洞头岛IOTA远征队在3号台前合影

图5 BA1KA秦宪在3号台操作

图6 3W7D（AS-157）的QSL卡片

图7 2008年7月，北京HAM远征AS-151菊花岛

一部V/UHF电台，夜以继日地向全世界各个角落的业余电台发出呼叫，集中精力排除各种干扰信号，奋力用CW、SSB和RTTY等多种方式和尽可能多的国内、外业余电台建立通信联络。虽然遇到岛上断电、交通不便以及风雨天气等一些不利因素，总共只操作了60多个小时，没有达到原定的96小时操作时间，但在全体参与者的共同努力下，仍然基本达到了预期的成绩，共与37个CQ分区的134个DXCC国家和地区完成了16178台（次）QSO，使这次远征取得了圆满的成功。RSGB的IOTA委员会对此次远征进行了确认并核准了AS141岛屿编号。“1999 BI5D洞头岛IOTA远征”是我国业余无线电界有史以来参与省、市最多、规模最大的一次民间HAM活动，此后虽然又有多次IOTA远征活动，但其成绩至今未被打破。该次活动经验对如何进一步深化改革，充分发挥业余无线电爱好者的积极性、探索符合形势发展的活动道路，使我国的业余无线电通信活动尽快与国际接轨，都具有积极的意义。

1999年以后，我国的IOTA远征活动有普及化、常态化的趋势，几乎每年都有爱好者组成远征队，赴各IOTA岛屿进行远征通联活动。这也从一个侧面说明了我国业余无线电活动的普及和兴旺。2001年的3W7D，是中国火腿的第一次IOTA国外远征。BA1DU龚万骢、BA4TA金冰峰和BA7QT廖建军和两位越南火腿3W2REH、3W6AR组成远征队，远赴距越南西贡500多千米的蚕岛（Tam Island），进行了8200余次有效QSO，覆盖了106个DXCC字头、31个CQ分区，取得了AS-157岛屿编号，标志着中国火腿已经迈入国际IOTA远征俱乐部。

IOTA竞赛

每年7月最后一个周末的星期六UTC1200至星期日UTC1200时，是世界IOTA竞赛时间。此比赛的目的是鼓励在陆地的业余电台与取得IOTA认可资格的海岛业余电台通联，并激励更多人参与IOTA海岛远征活动。您可以事先浏览互联网，报名加入去海岛的赛队；也可以干脆自己单独或出面组队去海岛参赛，如hellocq.net网站的“DX通讯”版面里有很多讨论和参赛的帖子；如果时间来不及，也可以使用您的电台在家里参赛。IOTA竞赛给全世界的HAM提供一个通联IOTA电台的好机会，也许您在这24小时内就可以通联到数以百计的IOTA岛屿电台，然后凭卡片就可以申请相对应的IOTA奖状了。

图8 IOTA 700岛屿奖状

图9 IOTA 750岛屿卓越徽章

IOTA奖项

IOTA委员会颁发的基本奖项为“全球IOTA 100岛屿奖状”，需提供至少列表中的100个不同的IOTA岛组的通联卡片，7大洲中每洲至少一个。根据您收到的通联卡片的数量，您可以依次申请全球IOTA 200~1000岛屿奖状，以100为单位步进。确认通联某大洲75%的岛组或确认通联75个该洲岛组，可申请单洲奖状。IOTA世界荣誉奖状授予已经确认通联7大洲，每大洲50%的岛组，或50个岛组，以较低者为准。通联750个IOTA岛组可获得IOTA750岛屿卓越徽章，此徽章由胡桃木雕刻而成，预留9个小金属盾形位置，每个金属盾代表25个需要升级的岛组积分，待添加的盾牌位置分别代表775，800，825，850，875，900，925，950 和975 IOTA 岛组。通联1000个IOTA岛组可获得IOTA 1000岛屿荣誉奖杯。此奖杯为高纯度钻石玻璃制成，上有一雕刻金属牌，安放在一高抛光木质基座上，预留8个需要升级的小金属牌的位置，待补牌分别代表即将完成的1025、1050、1075、1100、1125、1150 和1175 IOTA 岛组。注意：每个岛组只有一次确认通联会被计入荣誉数量。同一个岛组编号的不同岛屿的QSL卡不分别积分。

如何获取和发布IOTA活动咨询

在互联网上，有许多非常好的DX公告，他们公布最新的海岛活动咨询以及来自IOTA委员会的官方活动公告。推荐的网站有：

RSGB IOTA的主页：

http://www.rsgbiota.org；

IOTA管理人的网站：

http://www.g3kma.dsl.pipex.com；

425DX news网站：

http://www.425dxn.org/。

作业1 向互联网搜索IOTA DX公告，在对方确定的工作时间和频率“守株待兔”，完成至少一次和IOTA电台的通联；

作业2 关注hellocq.net等国内业余无线电网站发布的IOTA活动信息，报名参加一次IOTA远征活动。

天线制作十二款之七

吴国光（BA7IA）

合二为一的UHF/VHF频段J型业余卫星通信天线

业余无线电卫星通信操作由于电波信号传输损耗较大，因此要求天线系统既要有较强的方向性，又要有较高的信号增益，以最高限度地提高信号的强度。一个理想的业余卫星通信天线系统是采用八木天线阵或是抛物面天线等强定向天线，天线需要根据卫星信号的极化变化情况进行极化的变换和跟踪，还需要有一套精密准确的三轴跟踪系统配合使用，利用电脑软件控制天线旋转器进行卫星的自动跟踪。但是这样庞大复杂的天线系统所要投入的费用很高，同时要有适合的架设场所和环境，也需要经常对跟踪设备进行维护保养。因此，对于一般的使用者以及初入门的爱好者来说，业余无线电卫星通信的天线并没有条件搞得太庞大、太复杂。由于现在运行的一些业余无线电卫星是属于低轨道的卫星，特别是对于像国际空间站这样的大型通信平台，和地面的距离只要几百千米，而且星上设备的灵敏度和发射功率都比较大，当空中条件比较好的时候，就算采用增益比较小的天线，也有可能成功地进行通联。这类天线的结构简单，取材方便，很容易自己进行制作，制作的成功率很高，又可以省去昂贵复杂的跟踪系统，因此，很受业余无线电卫星通信入门者的欢迎。对于像ISS、AO-51和SO-50这些比较容易通联的业余无线电卫星，有些HAM甚至只用带地网的1/4波长或5/8波长垂直天线就能完成通联。各种业余无线电卫星通信天线也是广大业余无线电爱好者DIY最多的器材之一。

J型天线是业余无线电卫星通信常用的天线之一。

J型天线的基本结构如图1所示，基本型的J型天线在本刊已经有文章进行过专门的介绍。J型天线基本上是属于1/2波长端馈天线，它利用一根1/4波长的匹配线来进行阻抗转换，以满足高电压馈电的需要，使之可以直接与50Ω的同轴电缆相连接。天线的辐射图如图2所示，属于垂直极化天线。通过对低轨道业余无线电卫星的运行轨迹进行统计研究，获得如图3所示的统计图，从图上可以看出，低轨道业余无线电卫星有51%的时间是出现在仰角10°以下的区域，仰角20°以下出现的时间有76%，仰角30°以下的出现时间达到90%！也就是说这些低轨道业余无线电通信卫星大多数时间是在仰角30°以下的区域出现，刚好从我们头顶飞过的机会很少。因此，J型天线的辐射图能够满足大多数时候低轨道业余无线电卫星通信操作的需要。另一方面，卫星经过的仰角越大，卫星的相对距离也越小，同时信号被阻挡的机会也越小，因此信号的衰减也会变小，相对地补偿了天线在高仰角增益的减少。

本文介绍的制作是把VHF和UHF两个波段的J型天线合装在同一根天线杆子上，这样可以同时对业余无

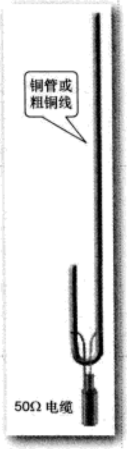


图1 J型天线的基本结构

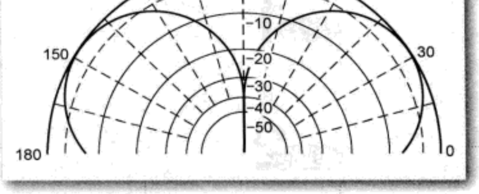


图2 J型天线辐射图

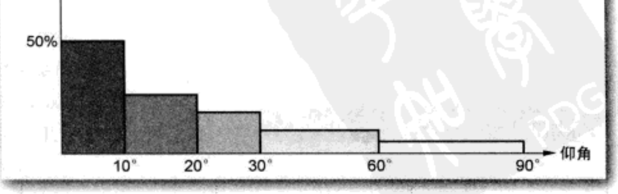


图3 低轨道业余通信卫星出现比例统计

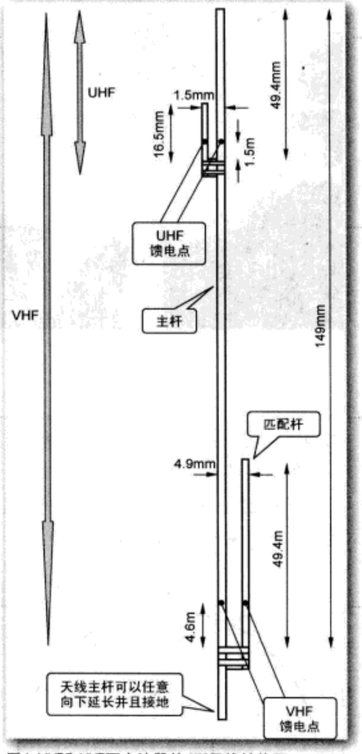


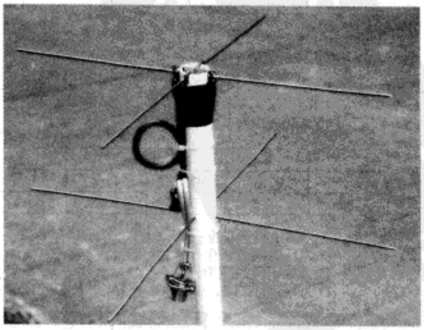
图4 VHF和UHF两个波段的J型天线结构图

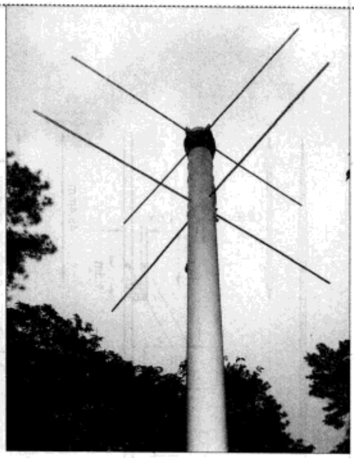
线电卫星进行VHF和UHF两个波段的通信操作而不会互相影响，天线的结构如图4所示，图中天线各部分尺寸是按照V/UHF频段低端业余无线电卫星通信频率范围进行设计的。这个天线的结构简单，机械强度高，取材方便，制作容易，调整简便，而且坚固耐用。天线的主杆可以采用直径25mm的铝管、铜管或水管（若采用材料强度高的管子，直径可以用得更小），匹配杆部分因为不直接受力，可采用直径更小一点的金属材料，大约17mm，这样可以减少天线主杆的负担，提高天线的抗风能力和机械强度。若采用装修材料中的铝方型材会比较容易加工和固定，在进行制作时，可按照主杆与匹配杆之间的间隔尺寸裁出一小块，嵌在天线主杆和匹配杆之间，用两个喉码收紧固定，也可以在杆上打孔，用不锈钢或铜螺丝把匹配杆上紧，制作好的天线在远处看起来就好像一棵仙人掌一样。我们本地有HAM采用水管来制作时，匹配段是用钢筋弯成L形，然后用电焊直接焊在作为主杆的水管上，超级坚固！天线的馈电点需要根据整个天线所架设的场地环境和天线制作的尺寸精度等进行调整，接入馈电点时要注意把50Ω同轴电缆的芯线部分接在天线的主杆上，屏蔽层部分接在短的匹配段上，不要反过来接。建议在天线主杆的馈电点下面一点的位置上打一个孔，让电缆穿入主杆管子中间引出来，这样天线既美观，又可以减少电缆对天线特性的影响。

先在开阔地上大致固定好天线和电缆的馈电点，串接上驻波表接入发射机对天线进行SWR特性测试，根据初步的测试结果来进行调整。同时上下移动芯线和屏蔽线两个馈电点的位置，一般可找出最佳的匹配点，如果匹配情况还不理想，可试试单独移动芯线馈电点或屏蔽线馈电点的位置。在进行调整时，宜先对UHF部分进行调整，调整完成并把电缆捆扎固定好以后，再调整VHF部分。当VHF部分调整好以后，把电缆捆扎固定好再反过来看看UHF部分的特性有没有变化，再进行一些调整。当两个波段都调整好以后，把天线先放下来，对馈电点进行正式的固定。馈电点可采取焊接、打孔放螺丝或箍夹等方法进行固定，当采用螺丝进行固定时，最好把同轴电缆的引线焊上线耳。等馈电点固定好以后，对馈电点和电缆进行密封防水处理，然后整理固定好引出馈线，再把天线正式竖立起来进行固定安装。天线主杆的下面部分可以任意地延长，以方便进行架设固定，当天线架设得比较高时，可以采用装设拉线的方式加强固定天线。如果采用金属拉线，拉线应放在VHF匹配杆下面一点的主杆上。整个天线对于直流来说是连通的，因此天线主杆的下面可以直接接地，使天线具有避雷针的作用。虽然业余无线电通信卫星的信号是从空中传播下来的，但是和任何天线一样，尽可能地设法把它架设在高处，使天线在几个波长范围内没有大的金属构件和建筑物等障碍物，这样方能最大程度地发挥天线的效能。由于这个天线具有比较高的增益和对地面有全向的辐射，因此不但可以用作业余无线电卫星通信，同时也可以作为V/UHF双频段垂直极化的基地天线，用于本地的业余无线电通联。

虽然上面介绍的J型天线具有很多优点，但这款天线只能处理垂直极化波的信号。而低轨道业余无线电通信卫星与地面电台的相对速度很快，其相对位置也不断地变化，因此，地面上电台的信号极化也在不断地变化，如果单纯以垂直极化天线去处理这些信号，最大会有一倍的信号损失！若采用圆极化天线就可以自动地适应信号的极化变化，而不需要去进行天线极化的切换了，使操作更加简单。

偶极振子十字型对空天线就是一种圆极化天线，我们将在下期的文章中为读者介绍偶极振子十字型对空天线的相关知识。





天线制作十二款之八

偶极振子十字型对空天线

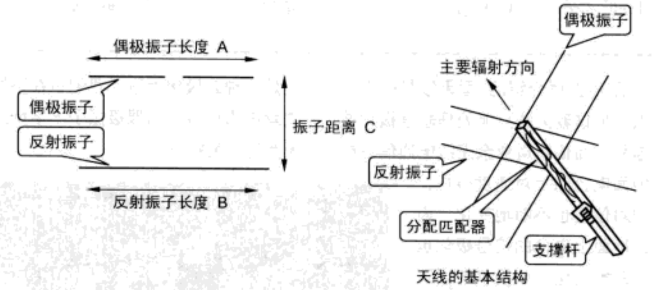
◎吴国光（BA7IA）

2009年第7期介绍的J型天线具有很多优点，但在进行业余卫星通信时也有些不理想的地方，本期为大家介绍另外一种适合业余卫星通信的天线——偶极振子十字型对空天线。这是一种圆极化天线，该款天线具有一些增益，而且最大的增益方向在天顶的位置。其基本结构如图1所示。

在互联网中，I6IBE 的网页上介绍了这种偶极振子十字型对空天线（www.hamradio.selfip.com/i6ibe/）的详细制作资料。这款天线的优点是结构简单，取材方便，制作容易，可进行圆极化波的收发。天线的主要部分是带反射振子的 1/2 波长偶极天线，当天线被垂直安装的时候，天线辐射的最大方向指向天顶，其天线的辐射图见图 2。

把两副带反射振子的 1/2 波长偶极天线以正交十字形安装在一起，通过特殊的分配匹配馈电连接方式，使天线产生圆极化辐射电波。天线各部分的尺寸如图 1 所示。天线的主要制作材料可以使用铝管、空调铜管或粗铜线等金属材料作为振子，采用 PVC 管、竹竿和木棒等绝缘材料作为支撑杆，见图 3。选用材料的粗细主要考虑所制作天线大小承受力的情况，通常 UHF 频段的可采用粗铜线等比较细小的材料，而 VHF 频段天线的振子比较长，可考虑采用铝管、铜管等比较粗大和强度高的材料进行制作，天线的支撑杆也需要采用适当粗一点的，以保证整个天线的强度。实际使用时，可以把 UHF 天线放在上面、VHF 天线放在下面，两副天线上下共轴层叠地安装在一起，这样可以节省天线的材料和安装场地，见图 4。

天线的分配匹配馈电连接方式如图5所示。采用同轴电缆进行阻抗匹



各部分尺寸（单位：cm）

	A	B	C	D	E	F	G
VHF	97.8	103.5	41.4	34.2	68.4	34.0	41.4
UHF	32.6	34.5	13.8	11.4	22.8	11.2	13.8

表中：A 为偶极振子长度；
B 为反射振子长度；
C 为振子间的距离；
D 为采用 RG-58 50Ω电缆作1/4 波长分配线的长度

图1 偶极振子十字型对空天线结构及部分尺寸

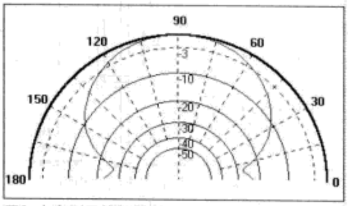


图2 十字型天线辐射图

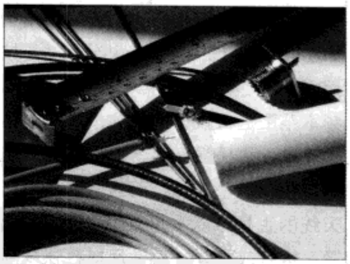


图3 十字型天线制作材料

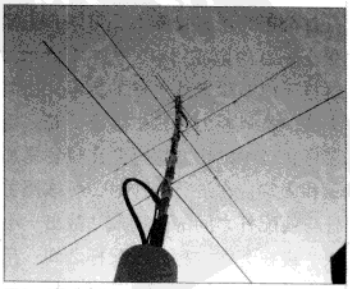


图4 双段十字型天线

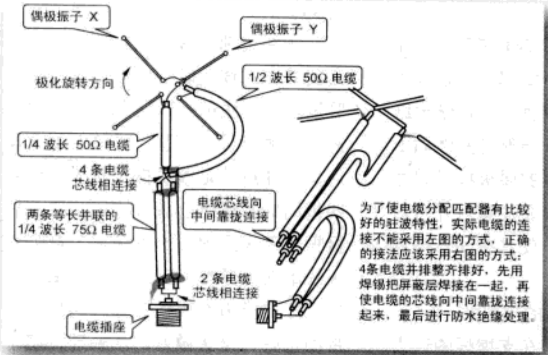


图5 电缆分配匹配器结构图

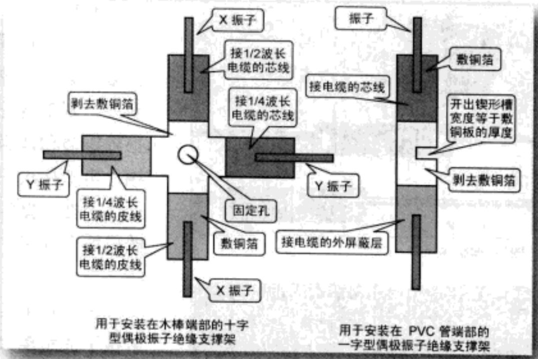


图6 偶极振子支撑架

配，分别需要50Ω和75Ω两种特性阻抗的同轴电缆。可以采用型号为RG-58的50Ω同轴电缆和采用型号为RG-59的75Ω同轴电缆，在天线结构图中给出了这几种型号电缆的长度尺寸。在制作时要注意，对于特性阻抗是一样的不同型号的同轴电缆，其长度尺寸也会有所不同。75Ω同轴电缆也可以采用我们常见的有线电视传输用的同轴电缆。但市面上有线电视用的75Ω同轴电缆良莠不齐，为了使天线有良好的特性和比较高的工作效率，同轴电缆应尽量选用屏蔽层编织网比较密、芯线比较粗、中间绝缘体是发泡塑料的质量比较好的同轴电缆。以前有的电脑网络也是采用75Ω同轴电缆作为网络的连接线，这种电缆的质量是比较好的。

同轴电缆按照图纸的长度尺寸预先切割好（图纸中电缆的长度是指电缆两头屏蔽层端部之间的距离，注意裁切时根据需要留出引线的长度），剥出屏蔽层和芯线。为了取得较好的电气特性，电缆的连接应采用集束接法工艺（见图5）。先把电缆最外层的绝缘外皮剥掉，露出电缆的屏蔽层（图 7），用烙铁在屏蔽层上面上一层焊锡，用利刀在距离绝缘外皮端部 1mm 的位置把屏蔽层连同下面的绝缘层一起整齐地割掉，留出电缆的芯线。

把4条匹配电缆端头在同一个方向对齐，然后用尼龙扎带把电缆束整体捆扎固定好，再用上锡后的细铜线把电缆的屏蔽层捆扎紧，然后用烙铁把焊锡渗入填满成一个整体，再把4条电缆的芯线往中间方向靠拢，扭扎在一起焊好（图8）。检查没有短路和虚焊以后，用胶布进行绝缘防水处理。

按照图纸的长度尺寸切割出偶极振子和反射振子。需要注意的是，图纸上的长度是整个偶极振子的长度，而在实际制作时还需要把它分成两段。用单面敷铜板根据用不同材料的支撑杆制作不同形状的偶极振子绝缘支撑架（见图6），对于采用木杆作支撑杆的，可制作平面十字型的振子绝缘支撑架，直接用木螺丝把绝缘支撑架固定在木杆的端部，振子绝缘支撑架的尺寸要根据所采用的木棒和振子的大小进行综合考虑。如果采用PVC管材作支撑杆的，就按图6制作一字型的振子绝缘支撑架，支撑架尺寸的大小同样要根据所采用的PVC管和振子的大小进行综合考虑。加工时先把敷铜板按照确定尺寸的大小要求切割成条状，在振子绝缘支撑架的中间开出一个锲形槽，槽的宽度等于敷铜板的厚度，深度等于振子绝缘支撑架宽度的一半。把两个这样的振子绝缘支撑架互相在锲形槽里对插卡起来，就成为

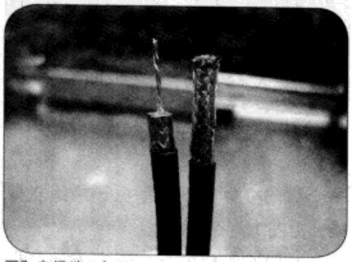


图7 电缆端口加工

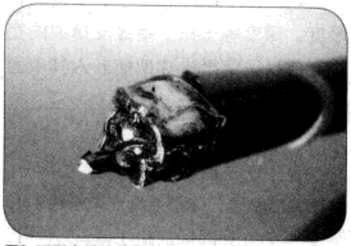


图8 匹配电缆连接图

图9 偶极振子支架

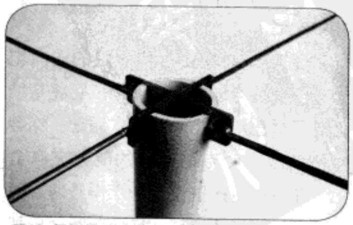


图10 偶极振子安装图

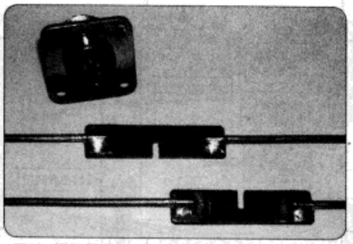


图11 偶极振子

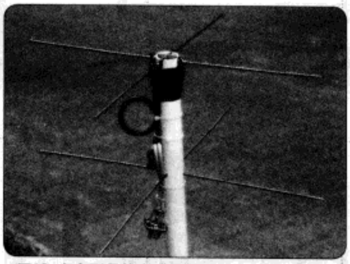


图12 十字型天线完成图

一个纵向立体的十字型振子绝缘支撑架，见图9。

把PVC管材的端部十字型地开出4条锲形槽，槽的宽度等于敷铜板的厚度，深度等于振子绝缘支撑架的宽度，使振子绝缘支撑架能嵌入其中固定，见图10。

如图6所示那样，用利刀和尖嘴钳把振子绝缘支撑架中间部分的敷铜箔剥去，剩下端部的敷铜箔。用细砂纸把敷铜箔和偶极振子端部打亮然后上锡，再把按尺寸裁好的偶极振子焊在上面，在焊接的时候要注意对齐两边偶极振子（图11），使其在同一条直线上。

按照图1中给出的偶极振子与反射振子的距离尺寸，在支撑杆的适当位置打上安装一对正交反射振子的穿孔。要注意，打孔的位置要和端部偶极振子的位置相对应，孔的大小和振子的直径一样。为了使两条反射振子能正交地对穿过支撑杆，一条反射振子的穿孔位置要和另一条反射振子的穿孔位置上下错开一点点。安装固定好偶极振子和反射振子以后，把制作好的匹配线分别接到天线振子上，见图12。改变某一条电缆的芯线和屏蔽层与天线振子端的接头连接方向，可以改变天线的极化旋转方向，从右旋圆极化（RHCP）变成左旋圆极化（LHCP），反之亦然。

天线全部安装连接好以后，把天线安装在四周空旷的地方，可以接入驻波表对天线进行SWR的调整。改变振子长度就可以调整天线的匹配频率点。要注意的是改变振子长度时最好四根同时等量进行调整，无论改变偶极振子还是反射振子的长度，都会对天线的谐振频率点产生影响。最后，把匹配电缆沿着天线支撑杆用尼龙扎带固定好，接头做好防水处理，整个天线就制作完成了。可以把天线垂直地指向天空架设，对于天线的架设高度并没有要求，下面的反射振子部分甚至可以贴着地面安装。

这个天线的缺点是对于仰角比较低的信号，其接收和发射的能力比较差，而且只有在卫星接近天顶时，收发的才是真正的圆极化信号。在移动运用时，可以采用人手移动天线，使天线指向卫星轨道运行方向来克服上述的缺点，取得更好的效果。下期，笔者将为大家介绍一种效果更好的业余卫星通信天线——打蛋器天线。

书讯

电子学是现代技术中迷人的部分。无论你在哪里，你都能看到电子设备和装置。从汽车到邮局的邮政编码阅读器，几乎每个机器都要用到电子控制。你可以不必了解这些设备的电子学原理，但是，当你了解了电子学的基本原理后，你会了解你身边更多的东西。

本书是由美国业余无线电转播联盟（ARRL）的技术编辑Larry D. Wolfgang 编写的《从零起步学电子》的中文译本。

这是一本真正从零开始的面向电子初学者的电子学基础读物。它将帮助你学习最重要的电子学基本原理。你会对你完成一个电路设计的能力充满自信，并且了解这些设计的工作原理。通过理解这些基本原理，你可以阅读理解更深的内容。你会熟悉电子技术和业余无线电技术的术语和行话。

全书分为4个单元、30个章节，分别从必备的数学知识、直流电学初步知识、交流电学初步知识、常用电路元件4个部分详尽而生动有趣地介绍了电子学的基本知识，包括电压、电流等基础电子参数介绍、基础元器件功能介绍、经典电路定律分析、基础电路原理解剖等，每一部分都配有大量幽默的漫画进行辅助说明，让读者在轻松的气氛中学习电子知识，感受电子学的神奇魅力。

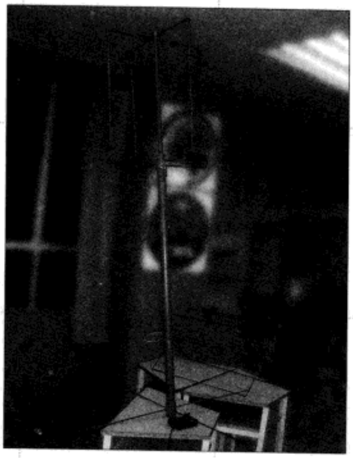
本书不仅适合业余无线电爱好者阅读，帮助他们了解电子学的基础知识，还是一本非常好的青少年学习电子知识的课外读物。

书号：20517 定价：45元

天线制作十二款之九

◎吴国光（BA7IA）

适合业余卫星通信的“打蛋器”天线



2009年第8期《无线电》，笔者为大家介绍了适合业余卫星通信的偶极振子十字型对空天线的制作。为了克服偶极振子十字型对空天线对于仰角比较低的信号处理能力差的问题，有HAM研究出了一种更高性能的所谓“打蛋器”天线。

“打蛋器”天线是一种操作于圆极化波的全向天线，这种天线同样取材方便，易于制作，调整方便。打蛋器天线的基本部分是两个正交安装的全波长框形环结构，这种天线架设起来的形状酷似是一个厨房用的打蛋器，因而得名“打蛋器”天线。

天线原理

通过对低轨道业余无线电通信卫星的电波传输路径进行深入研究，我们发现，相对于直接的过顶路径，一个典型的低轨道业余无线电通信卫星以30° 仰角通过时，大概有6dB的自由空间损耗。这意味着一个理想的全向天线从30° 仰角到90° 仰角之间应该具备－6dB的仰角辐射图案，以此来平衡30° 仰角以下的地平面所产生的6dB损耗，从而均衡不同仰角导致的信号强度差异。打蛋器天线也使用一对正交无源反射振子来调节过顶辐射波束图案。这样做的结果是使它成为一副有增益的天线，但这种增益是通过损失低角度接收的性能来达到的。通过对天线进行最优化设计，可以使天线能够最大可能地捕获来自低轨道业余无线电通信卫星的微弱信号，图1是天线经过优化后的辐射图。

在业余制作中这个打蛋器天线采用90° 的“相位调整”电缆线来提供固定的右旋圆极化（RHCP）。这种天线也是垂直地安装在地面上，对于水平方向，它属于一副水平线性极化的天线。随着仰角的不断上升，它更多地表现出右旋圆极化（RHCP）的特性。

天线各部分尺寸(cm)

	A	*B*	*C*	*D*	*E*
VHF	50.8	62.4	101.0	100.3	41.5
UHF	17.1	21.0	33.0	33.7	13.5

表中：*A* 为天线框宽度；
B 为天线框高度；
C 为天线框与反射振子之间的距离；
D 为反射振子的长度；
E 为 RG-62 移相电缆的长度

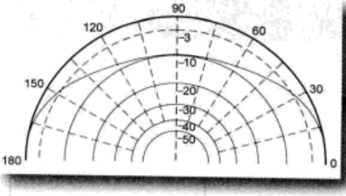


图1 “打蛋器”天线辐射图

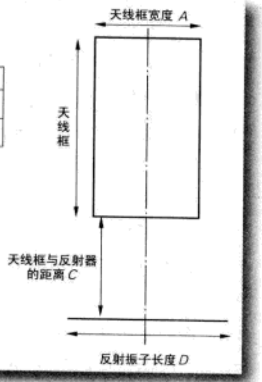


图2 “打蛋器”天线的基本结构和各部分尺寸

天线的制作

“打蛋器”天线的基本结构和各部分尺寸如图2所示。

天线制作所用的材料比较容易取得（见图3），可以采用PVC管等绝缘物作支撑杆材料。PVC管现在被广泛地用于家居的上水管和下水管等，因此，在很多装修材料店里都可以找到各种直径的PVC管以及各种形状和尺寸组合的PVC连接头，其中T形的连接头可以用来做框形振子的支撑和接线盒，圆形的接管头可以用来安装反射振子等。

这些连接头和管子都可以采用专用的施工胶水牢固地粘合起来，连接以后既结实又防水。采用细空调铜管作振子材料，对于UHF波段的天线，其振子也可以用粗铜线制成。

按照制作图中所标注的尺寸量出整个框形环所需的材料长度，比较保守的做法是预先在平整的地面上用粉笔根据图纸的尺寸画出一个框形环的实样，然后比对这个实样进行两个天线框的弯制。实际制作过程中应该让框形环的尺寸稍大一点留出进行调整修剪的余量，以保证你得到理想的SWR值。粗铜线的弯折可以用台钳

或大平口钳进行，但是对于比较粗的铜管就需要专门的工艺来进行弯折，否则很容易会把铜管弯断。在空调零件商店中售卖的一种小型的弯管机可以比较容易地把空调管进行任意角度的弯折，但是笔者经过应用，发现这些弯管机所弯折出来的管子不是直角弯，而是带有比较大的圆弧，整个框形环看起来就不太美观，但并不影响实际使用的电气性能。要把铜管弯折成直角的话，需要用维修空调用的液化石油气喷枪把铜管加热至软化状态，再用两个角铁夹压进行弯折，弯折出来的直角质量取决于角铁夹压的力度和时机，新手需要进行练习几次才能掌握其中的诀窍，见图4。

把PVC管或作接线盒的转接头如图3那样相隔90° 钻出4个穿孔。需要注意的是，由于两个天线框是正交安装的，因此，一组穿孔应该比另一组的穿孔稍高或者是稍低一个天线框振子直径的位置。当钻孔完成后，把两个天线框的端头插入安装进去，使两个天线框成正交位置，用螺丝固定好，这样看起来就十足像是一个打蛋器的形状了，见图5。

用同样的方法加工反射振子的穿孔。同样也要注意一组振子对穿的穿孔应该比另一组振子的穿孔稍高或者是稍低于一个反射振子直径的位置，反射振子的穿孔位置要正对着上面天线框的穿孔位置，这样，反射振子才能发挥其应有的作用。当天线框和反射振子都按照要求加工完成以后，就可以对天线进行测试调整。测试的方法是把天线框的两组馈电点直接并联起来，不需要连接移相线，直接在两个天线框振子上连接 50Ω 的同轴电缆，这样就能够避免由于加入了移相电缆所带来的阻抗影响。实际操作时只需要简单地将 50Ω 同轴电缆的芯线连接在任意两个相邻的天线框终端上，将同轴电缆的屏蔽层接在剩下的另外两个天线框的终端接点上，然后把按尺寸裁好的一对反射振子正交插入穿孔中，使天线框与反射振子之间的距离符合图纸的要求并安装固定好。

天线的测试

把装配好的天线放在四周开阔的地方，开始进行天线驻波特性的测试。通常如果严格按照图纸所给出的尺寸精确地进行加工制作的话，天线就可以获得SWR=1.05:1的良好特性。如果SWR大于1.5:1的话，需要调整天线框，并且重新测试。另外，反射振子的长度对于SWR也是相当敏感的，因此，当对天线框的大小进行调整有困难的时候，可以尝试对反射振子进行调整。而反射振子安装的上下距离要求并不十分精确，但通过上下微调可以让天线的SWR更加完美。

天线电缆的馈电连接

天线初步完成测试调整以后，可以把测试用的50Ω同轴电缆拆除，进行天线电缆的馈电连接工作。天线的电缆连接方式如图6所示，在图中的两个天线框应该是正交地安装在一起的，只不过为了说明的方便才把它们画成了分离的状态。

从图6中可见，两个天线框通过一条90° 的同轴移相电缆连接起来，移相电缆采用型号为RG-62的93Ω特性阻抗的同轴电缆（见图7）。这种特性阻抗的同轴电缆比较特殊，并不像通常的50Ω或75Ω同轴电缆那么普遍，笔者在制作的时候很幸运地在一个电脑机房里找到一小捆，据说是以前用来作网络连接用的网线。听说有的汽车音响上也有用到这种电缆，另外，你也可以试试到“淘宝”或者“eBay”等购物网站中去搜寻一下。如果实在找不到，你也可以尝试使用75Ω的同轴电缆来代替，但是制作出来的天线可能得不到理想的SWR特性，这对于

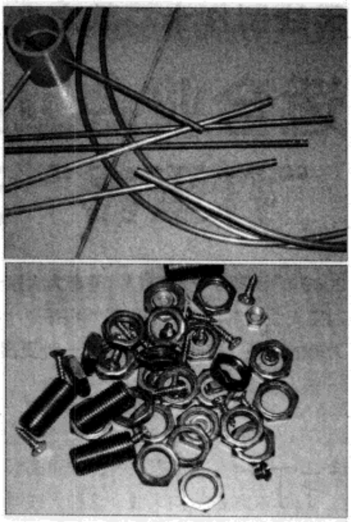


图3 天线材料

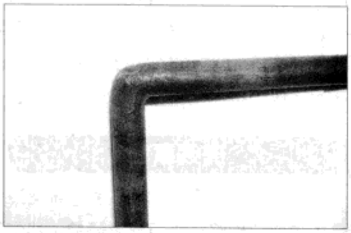


图4 铜管弯折细部

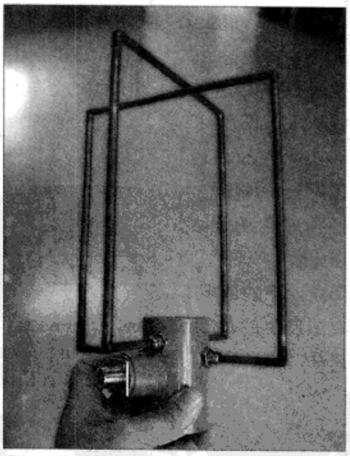


图5 UHF天线框完成图

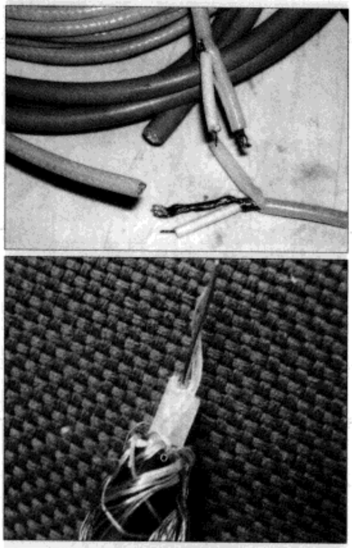


图7 匹配电缆与RG-62同轴电缆

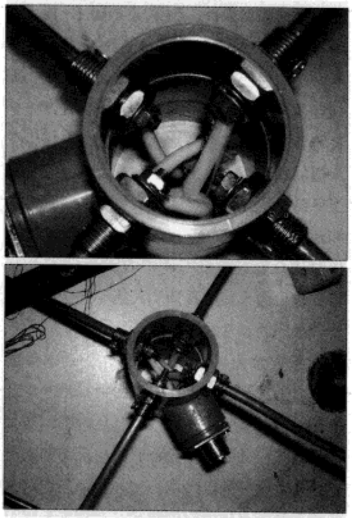


图8 电缆连接与电缆引出细节

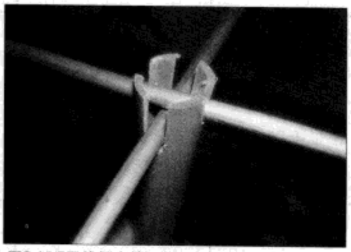


图9 VHF天线框支撑细部

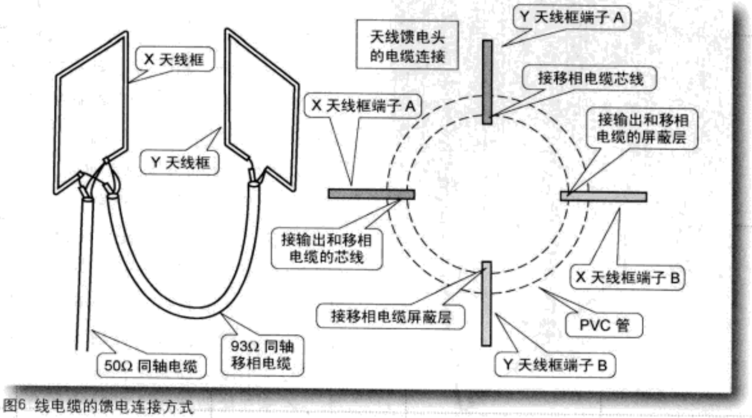


图6 线电缆的馈电连接方式

发射VHF的上行信号可能不会有什么明显的感觉，但是，对于UHF下行信号的接收，这个可能就是能抄收还是不能抄收到信号的区别了。

按照图2的长度尺寸切割出移相电缆，裁切馈线的时候要预留出大约6cm的余量，以便电缆的两边各有约3cm，用于剥出绝缘层制作引出线。分别用利刀剥出网状屏蔽层和芯线，为了能够容易安装连接，可以把屏蔽层和芯线都焊上线耳端子（如果打算直接焊在振子端头上的话，这一步可以省略）。移相电缆终端也可以跟50Ω的引出同轴电缆共用一个线耳端子，这样做就仅需要4个线耳端子。全部焊接好引线线耳端子以后，按照图6的接线顺序用铜螺丝把电缆接到天线框的端子上，见图8。图中的接线顺序使天线得到的是右旋圆极化（RHCP）特性，如果一头接反了，天线就有可能变成了左旋圆极化（LHCP）特性了。

移相电缆和输出电缆都连接好了以后，检查是否存在短路或开路。由于PVC管的内部比较狭窄，两组电缆引出线很容易就碰在一起，引起短路，因此，要用绝缘套管和胶布把这些引线进行绝缘处理。最后把整个天线的馈电部分进行防水密封处理。

我们在制作VHF波段的打蛋器天线时，发现天线框体比较大，铜管自身的重量会引起天线框产生变形和摇动，于是我们用一条比较细的PVC管加工成天线框的支撑杆，在PVC管的端部按照铜管的直径加工出十字型嵌槽，管子的另一端加上一个PVC管变径转换头，固定在天线框T形接线管上，从天线框的中间把天线框支撑起来，从而解决了天线框变形的问题，大大地提高了天线的强度，见图9，VHF天线框制作完成后如图10所示。

天线的架设

天线制作完成后各部件如图11所示。把制作好的天线垂直地指向天空架设，对于天线的架设高度并没有要求，下面的反射振子部分甚至可以贴着地面安装，但是为了能更有效地进行业余无线电卫星通信，天线还是应该设法尽量地架设在四周开阔没有阻挡的空旷地方为佳。有条件的可以让VHF和UHF两条天线分别安装在相距5m以上不同的地方，或者把VHF和UHF天线分别上下错开位置进行安装，以减少两条天线之间的相互影响。笔者制作的大小各异的打蛋器天线见图12。

这款对空天线及前两期介绍的天线，最大的特点是省略了昂贵复杂的天线跟踪系统，一经安装，其辐射

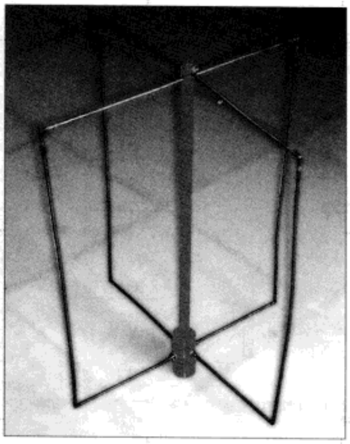


图10 VHF天线框完成图

扇面就能够覆盖大部分低轨道业余无线电卫星的轨迹，能够很好地应付来自各个方向的卫星信号，使用中并不需要进行调节。同时这些天线结构简单，携带轻便，制作后很容易在现场进行装拆，因此，也适合在野外临时架设装置使用，在野外移动的环境中也可以进行业余无线电卫星通信。

这些天线也都具有增益比八木天线低的缺点，因此只能使用在像ISS、AO-51和SO-50等信号比较强的卫星通信中。要克服这些缺点，除了需要采用功率比较大的收发信机或加入大功率的功率放大器来增强发射信号以外，还要在接收时加入低噪声前置放大器来提高接收信号的信噪比，通过这些措施补偿天线增益的不足，提高信号的强度，使天线能够取得更好的应用效果。

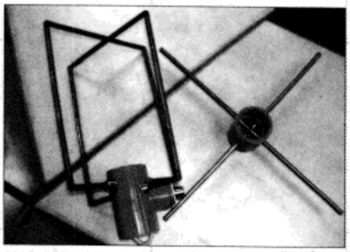


图11 制作出的UHF“打蛋器”天线的各个部件

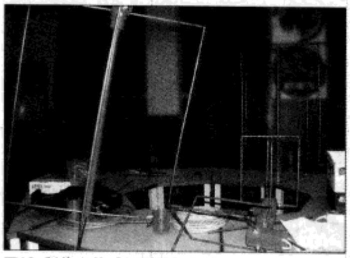


图12 制作出的“打蛋器”天线

ARRL《天线手册》内容介绍

书号：20831
定价：150元
各地书店有售
各大网上书店有售
（当当、卓越、互动出版、淘宝店）
邮购方式：
汇款至：北京市崇文区夕照寺街14号A座606室《无线电》杂志社（100061）
免邮费

这本手册的内容非常丰富，总计28章的内容涉及了天线基础、天线建模与系统规划、多种应用天线、天线阵列、天线材料与附件、天线的接地系统与地面对天线和电波传播的影响、传输线、无线电波传播，以及天线与传输线的测量等，甚至包括了主要天线产品的供应商的概况。

作为一本业余无线电转播联盟的天线手册，其主要内容涵盖了业余无线电频段几乎所有的主要天线形式，如各种振子天线、环天线、八木天线、多波段天线、宽带天线、对数周期阵列、方框阵列、测向天线、便携天线、移动天线和水上天线、中继台天线系统、VHF和UHF天线，以及用于空间通信的螺旋天线和反射面天线等。同时该书对业余无线电频段（包括HF、VHF和UHF频段等）的各种电波传播特点与组织通信的方式等给出了详细的描述。虽然该天线手册历史悠久，但通过一次次再版的修改与补充，因此内容不乏新的天线和电波传播技术，如手册中有相当篇幅介绍了应用当代计算机建模软件分析、设计天线和进行电波传播预测的内容。

与其他天线手册不同的是，这本天线手册还对如何设计、制作所需要的天线，对架设和维护天线系统提供了相当丰富的信息，从如何应用先进的计算机建模技术，如何选择天线、天线杆的材料到如何注意安全性等各方面都有很详细的介绍。除了提供了大量的加工图，给出加工数据之外，该书甚至还给出了业余条件下价廉物美的替代方法和建议。书中附有很多天线的实例，这不仅对业余无线电爱好者中的DIYer是一种福音，也可为天线工程师和天线制造企业提供一种很好的参考。

除业余无线电爱好者之外，这本天线手册以其对天线与无线电波传播技术的广泛的覆盖，以及其中一些很有特色内容，对其他天线工程师和从事天线研究与应用的人员也是一本很好的参考书。例如：手册中对天线阵列馈电系统的详细描述、对螺旋天线阻抗匹配技术的详细描述、对应用史密斯圆图进行有耗传输线参数计算技术的描述等，这些内容在其他天线书籍中是很少能见到的。

美国业余无线电转播联盟《天线手册》自从 1939 年 9 月出版第 1 版以来，到本书已是第 21 版了，这充分说明这本手册的生命力。相信它也可以成为我国从事天线技术的科技人员、射频工程师以及相关大专院校师生的一本很好的天线参考书，为我国的天线技术的发展和天线人才的培养做出贡献。

天线制作十二款之十

制作适合城市中架设的LOOP天线

◎刘燕北（BD2BH）

编前语：城市中，在楼顶、平台架设一款标准天线实在太难了，城市规划、物业管理，特别是有限的地域，这些条件大大限制了广大无线电爱好者架设大型天线的空间。本文介绍的这款天线特别适合那些没有条件架设"全尺寸大天线"的爱好者制作使用。

笔者向大家推介的这款天线是混合型三角形多波段LOOP天线，天线结构见图1。

天线的主要特征

首先，"混合型多波段三角形LOOP天线"占地空间较小，以40m全尺寸偶极天线为例，一般情况下需要20m的纵向范围，而此天线只用6m左右的空间。

其次，天线采用全尺寸，没有使用陷波器，更没有用自动天调，因此效率较缩短型天线高。

第三，该天线在40m/15m和10m波段形式为常见的倒V全尺寸结构，而在30m和20m为全尺寸的三角形LOOP结构，因故称之为"混合型"多波段天线。

第四，LOOP天线由于结构和较大的有效辐射面积，因而较一般的偶极天线有着较大的优势，噪声较小、信噪比较高，增益为1/2波长偶极天线的1.5dB等。

第五，该天线无论如何变化，虽然其技术含量较低，价格低廉，但是其效能并不低。更为关键的是，所有的爱好者随时随地都可以自己架设，亲临实践，享受沟通的成就感。

第六，此天线所有的材料、部件都是自制，成本可以控制在百元以内。天线适合固定架设或者户外便携运用。

混合型多波段三角形LOOP天线的工作原理如图2所示。

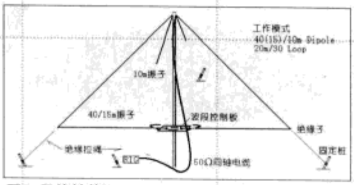


图1 天线结构图

天线所需材料

1. 线径1.5mm以上，单股或多股铜质导线，长度为10.11m x 2(两对)，用于40m偶极天线和20m LOOP天线架设之用。

2. 材质要求同上。长度为2.5m x 2(两对)，用于10m波段偶极天线制作。

3. RG-213/U馈线，或者国产同规格（-7馈线）。长度7m一段，直径40mm，长度为12.5cm的PVC管一个，用于巴伦的制作。

4. M插座一个，-7转接插头一副（一个M插头、一个M插座）。

5. 15cm x 6cm、厚度5mm环氧树脂绝缘板一块，用于天线馈电点M插座的安装，以及天线与立杆间的固定。

6. 15cm x 9cm、厚5mm环氧树脂绝缘板一块，用于安装天线波段、天线模式切换控制板和天线两臂的电气连接。

7. 天线立杆。最好是非金属结构，长度为8m左右。

8. 高频同轴电缆若干。根据天线

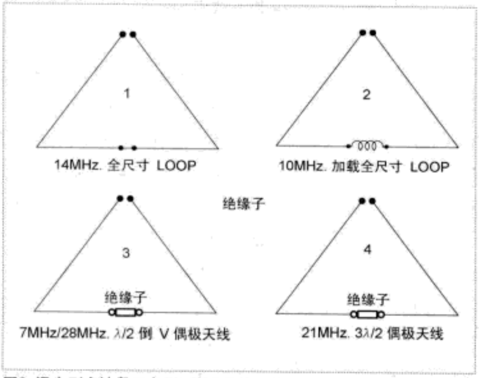


图2 混合型多波段三角形LOOP天线工作原理

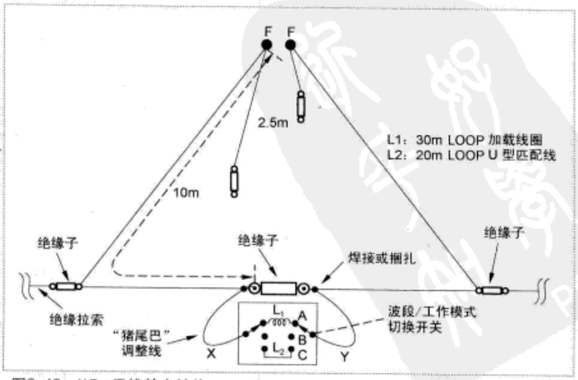


图3 40m/15m天线基本结构

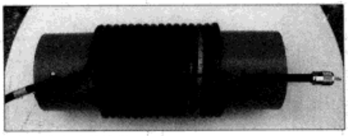


图4 空芯巴伦实物

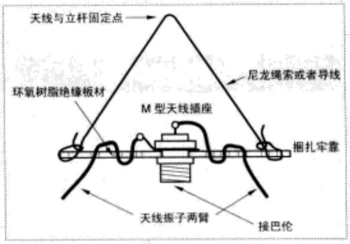


图5 天线馈电点M座的安装

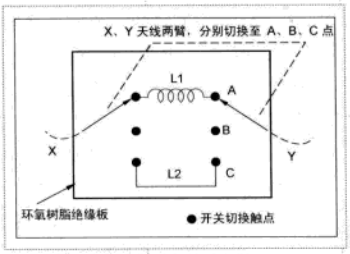


图6 天线工作模式/波段切换控制板

至发射机实际需要确定，型号为RG-213，最好与巴伦同规格电缆。

天线基本结构

1．40m/15m天线的基本结构如图3所示。天线在40m波段为一个标准的偶极天线，与常见的V型偶极天线不同的是，天线两端向内折合。同一天线，3倍频（$\lambda/2 \times 3$）用于15m天线的自然谐振。

2. 10m 天线结构为常见的倒 V 形式，其架设平面与三角形天线平面垂直。天线原设计没有 10m 波段，鉴于天线仅依靠 40m 对称拉线的不稳定性，因而呈 90° 角再增加一副天线“拉线”，同时也就增加了 10m 波段。如果不需要 10m 波段，则可用绝缘拉线代替。

3. 30m天线结构。30m波段基本上为CW模式专用频率，由于其兼有40~20m波段良好的传播特性，几乎常年全天开通，成为了业界公认的黄金频段。天线在40m波段的基础上，简单地增加了一个加载线圈，因而巧妙地变成了一个加载形式的30m LOOP天线。当然，如果不喜欢，或用不到30m波段，也可以省略30m负载线圈，简化天线的电气结构。

4. 20m天线的结构。20m波段同样是在40m倒V天线基础上转化而来，其做法是，短路40m天线，天线即成为全尺寸的20m LOOP天线。

如此一来，“混合型多波段三角形LOOP天线”通过在三角形底部的转换开关，在不使用陷波器、不使用自动天调的情况下，很巧妙地实现了40m-30m-20m-15m-10m天线的转换，而且全部是全尺寸、自然谐振。

天线的制作

1．空芯巴伦制作。取直径4英寸（约直径100mm）、长约125mm的 PVC管一根，用RG-213/U或者同规格-7馈线，长度为7m或者更长些，在PVC管上绕制19匝，工作频段可以满足3.5~30MHz频率范围和不平衡-平衡阻抗转换要求，实物电路见图4。

注意，由于天线采用偶极和LOOP的混合结构，因此天线不能使用强制平衡的所谓“三线绕制的”巴伦（因为内部电气结构为短路），这一点尤其需要注意。

2．天线馈电点M座的安装。将M座打孔，安装在15cm x 6cm绝缘板上，同时对称打孔，为40m天线振子、10m天线留出安线位，最后为固定绝缘板预留出孔距。在安装天线时，注意绝缘板的固定金属线不要与振子任何部位短路，如图5所示。

3. 天线底部控制板制作。天线底部控制板，尤其是底部控制绝缘板的连接决定着天线谐振形式和天线基础结构的转换，也决定着天线制作成功与否。如图6所示，40m天线两臂间隔绝缘板悬空时(接B点)天线为普通的偶极“倒V”，如果天线两臂短路（接A或 C点），则天线变成了标准的LOOP天线。按照图示，打孔，预留天线安装位置。天线两臂在绝缘板上间距为5~6cm即可，A、B、C间距为2~3cm。

4．30m负载线圈的制作。L1用14#高强度漆包线（线径约2mm），在2英寸（直径约50mm）的PVC管上绕25圈，然后在绝缘板上固定牢靠。

5. 天线工作模式/波段切换控制板制作。

天线常见的切换控制方式如下：

控制方式一：

如果天线用于户外便携操作，或者有开放空间的露台安装使用，最简捷的方式就是用一对“鳄鱼夹”作为切换开关。

如果放在楼顶，不方便经常上楼调试和转换波段，那么“天线切换开关”需要用遥控的方式加以解决。常见的方式就是用双刀双掷（2常开2常闭）的射频继电器。但是此类继电器主要对全天候应用，湿度环境要求极高，较为昂贵。在短波应用，用常见的双刀双掷12V直流继电器即可，如松下（Aromat）超小型双刀双掷继电器TW2E-12V-H10（防水和电器性能优），也可用4078、HRS2H、JRC-19F替代。

控制方式二：

用 2 只双刀双掷继电器的两组触点，分别控制 3 个天线切换。一只用于 40m 偶极 /20m LOOP，另外一只专门控制 30m 加载 LOOP 的切换，这种形式由于继电器两组触点间距很小，对天线谐振尺寸要求极高，不易调试和制作。

控制方式三：

用4只双刀双掷继电器控制波段和天线模式的切换，见图7。这样，天线模式切换跟“控制方式一”的手动切换方式完全一致，只是增加了2个继电

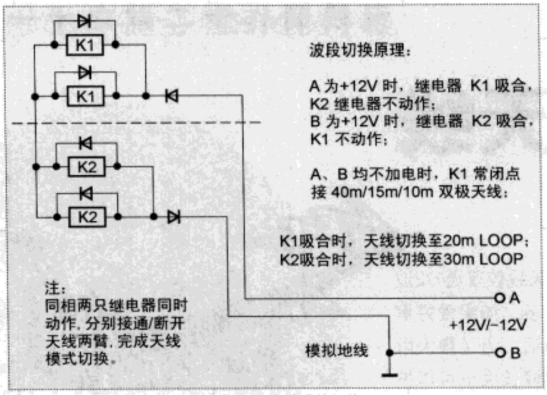


图7 用双刀双掷继电器控制波段和天线模式的切换

器。如果不用30m波段，可以少用一组继电器，控制方式会变得更为简单。

注：图7中的±12V用电台的13.8V电源供电即可，A、B端可用一个极性转换开关实现，也可以四线分别控制。图8所示的极性转换开关，直接接至A、B端。

控制继电器和底部控制板制作注意事项：

一是控制继电器和控制绝缘板需要按照防水设计，二是30m加载线圈也需要防水，否则气候的变化将影响天线性能；三是连接控制板的电缆最好用4芯屏蔽电缆，同时控制线输出端或者输入端穿入EMC/EMI磁环，在其上绕制6匝，防止控制线上的噪声和尖峰干扰。它同时具有吸收静电脉冲能力，使用电子设备达到电磁兼容和静电放电的相应标准。

天线的架设与调试

1. 天线的组装。首先完成天线顶部绝缘板的电气连接，如振子与绝缘板的固定，然后是M插座的固定，接着是巴伦与M座的紧固，其次是绝缘板与立杆的链接固定。

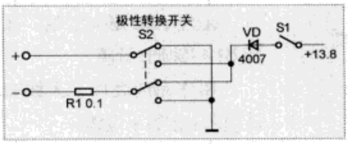


图8 极性转换开关

2. 天线的绝缘子材料。40m和10m天线需要两对绝缘子，尼龙棒、PPR管或陶瓷结构均可。天线底部控制板自身可以代替另外一个绝缘子，不需要单独配置，但要注意控制板继电器和线圈的防水处理。

3. 天线立杆架设。由于天线顶端至三角形底部高度约5.774m，因此最好采用8m高的非金属立杆。鉴于安全和效率的因素，建议天线底边距离地面高度至少要达到2m。

4. 天线拉索。天线架设好之后，天线40m/15m和20m呈等腰三角形分布，先固定好此部分拉索。10m波段天线振子比较短，为了避免影响其他波段工作，其余部分要用绝缘拉索，且一定要选用耐老化的尼龙绳，不能采用金属导线。

5. 天线的调试。天线底部控制板继电器、负载线圈和防水设施固定牢靠之后，进一步测量电气连接的可靠性，我们便可进入天线的最后调试阶段。

步骤一：40m 波段的调整。

设定频率为7.050MHz，首先将天线两端固定在B点（天线两段距离5~6cm），不要接控制继电器。根据天线测试仪或驻波比表的测试结果，两边同时修剪天线的“猪尾巴”长度，要求以1cm为单位，逐步逼近，直至7.050MHz为1:1。40m调整完毕之后，15m可以自然谐振，驻波一般都在1.5以下。

步骤二：20m 波段的调整。

40m调试完毕之后，天线的两端就要相对固定，“猪尾巴”长短绝不能增加或减少了，因为20m的LOOP是在此基础上完成的。首先将天线两臂接入C点，请记住天线的谐振频率调整是借助于接入两个C点的U型匹配线段来完成的，U型线段的长短根据需要确定。其次，再根据测试仪器或驻波比表读数，设定一个频率，如14.265MHz，逐步修剪U匹配线段的一端，直至在设定的频点驻波比达到1:1左右。

步骤三：30m 波段的调整。

同样是在40m天线调试完成基础上形成LOOP天线。在30m设定一个频率，如10.145MHz。此段天线的调整跟20m类似，只需要调整负载线圈的电感量即可。按照天线测试仪器的驻波比，适当调整电感一端抽头，就可完成1:1的驻波调试。

步骤四：10m 天线的调试。

10m波段为一个并联的、单一的偶极天线。根据需要的谐振频率，如DX窗口28.495MHz，调整驻波至1:1即可。需要注意的是，10m波段的调整可能会给20m波段带来一定的影响，因此最后这两个波段再进行一下统调即可。

步骤五：所有波段都调试满意之后，再将继电器接入控制板，连接好控制端，即可测试各个波段的工作模式、工作频率的切换了。

注意由于继电器连线的长短会导致谐振频率的轻微改变，因此此时需要对“猪尾巴”进行微调，适当减少其长度和分布电容等对谐振频率带来的影响，直至每个波段遥控切换正常，各个工作频率都十分满意为止。

可以在阳台上使用的多波段定向天线

天线制作十二款之十一

◎刘燕北（BD2BH）

本文介绍的天线以我们常见的一个单元的偶极天线为基础，由于其形状与水平偶极天线相比较，呈现为英文字母的“V”字形，因而得名Vee Beam。该天线小巧的程度足以让我们在户外便携使用。在国外，该类天线主要应用于低段户外或者比赛活动使用，对于我们安装在室内的基地台，可以把它放在阳台上，作定向天线使用。由于天线具有一定的增益和指向性，因此在安装方式上，将V形天线的角平分线方向对准常用的通信方向即可。

V形偶极天线的主要特点有三：一是与同尺寸偶极天线相比具有一定的前后比和方向性，克服了水平偶极天线增益较低，双“8”字形辐射带来的天线信噪比低、辐射能量浪费、难以捕捉DX等弊端。二是天线架设调试简单，有过单波段偶极天线制作经历的爱好者都可以亲自尝试，成功率高，效果好。特别适合低频段八木天线匮乏、定向天线难以架设的场合；三是天线为了获得一定的增益，天线每臂以5/8（0.64）波长为好，天线较普通1/2波长偶极天线长出了许多。如果爱好者有兴趣，场地允许的话，为了最大限度提高天线增益，单臂长度也可以按照3 /2、5 /2波长设计。天线两臂夹角90°～120°，这时120°增益最高。

笔者介绍此款天线的主要目的，是让大家能够在原单波段Vee Beam天线的基础上，通过自动或者手动天线调谐器，仅以每臂3m多长的振子，让天线满足20～6m波段的覆盖范围。同时，天线仍具有一定的增益和前后比。

天线结构

天线每臂为3.76m，用1.22m长450Ω平衡馈线作为中间过渡，中间连接1:4不平衡-平衡巴伦,巴伦后面直接接入手动或者自动天调，天线两臂呈90°夹角。这样一来，一个可以覆盖20~6m、包括WARC频段的V形多波段偶极定向天线系统就完成了。

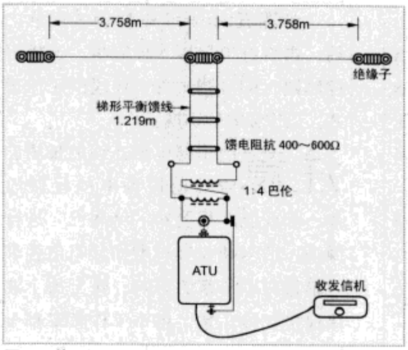


图1 一单元20～6mVee-Beam天线原理图

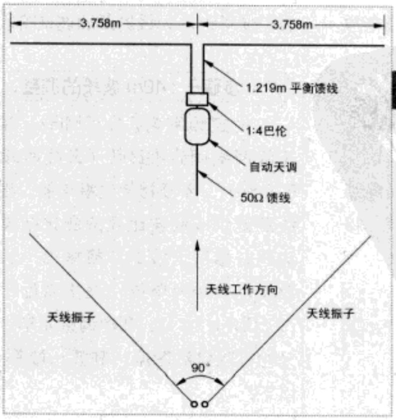


图2 20～6mVee-Beam天线俯视图

天线工作原理

此天线的基本工作原理为EDZ——扩展型双齐伯天线的变形。水平双齐伯天线增益约为3dB，将EDZ天线的两臂折合至90°之后，天线的双方向增益就拓展为单指向性增益，也具有了一定的前后比，从而为单线天线成为定向天线奠定了基础，其原理图见图1。

天线设计

天线每臂长度：0.64波长X 1

梯形馈线最小长度：0.137 X 1

为了兼容 20~6m 和便携性，这里天线的设计长度，按照 51.110MHz 计算。

制作完成之后，天线在20m之上很容易调谐。

天线选材

1. 天线振子主体。我们可以选用最（细）末端直径8mm左右的铝管，利用3~4节做变径处理，这样天线可以自由伸缩，方便调整。天线虽短，但是最好不要用铜管制作，因为对于水平放置的天线的受力来说还是太重了。另外一种方式，我们可以采用4.5m长的玻璃鱼竿来制作天线的主体，以铜质金属导线作为天线的振子；

2. 450Ω平衡馈线。类似平衡馈线在国内比较难找，我们可以用老式300Ω电视机馈线代替。实在没有的话，最简捷的方式，我们可以用2mm多股金属导线自己制作450~600Ω的平衡梯状馈线。

方法为：用高频绝缘较好的任何塑料、PVC管等做为绝缘子做支撑，两线间距10cm即可。绝缘子3~4个就足够了，因为这段平衡馈线只有1m多长。我们可以采用成品的1：4不平衡－平衡巴伦，也可以用磁芯漆包线制作，这里不能选用同轴电缆绕制的空芯巴伦，一定要用电流强制平衡型的。

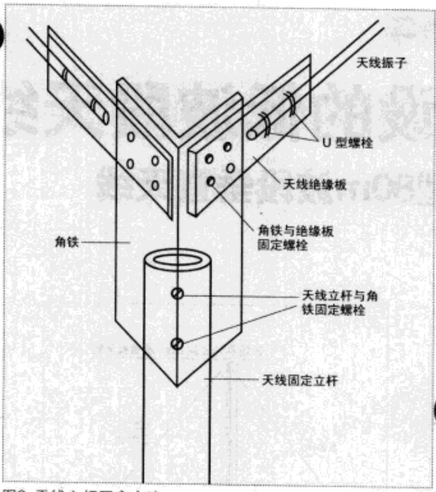


图3 天线立杆固定方法

天线的制作

1. 制作天线振子。这个步骤中比较难以制作的是天线振子到天线固定绝缘板的制作。有条件的可以用4cm×4cm的角铁作为基础，然后用两块厚度为5mm以上的环氧树脂绝缘板材作为固定天线的层面。环氧树脂绝缘板用螺栓与角铁固定，天线用U型夹具固定到绝缘板上。整个天线立杆再用自来水镀锌管固定到角铁上即可，见图3。

2. 使用手动或者自动天调。应用天调之前，我们必须先了解一下馈线的作用。馈线的作用是将能量最大限度送至天线而不能产生辐射，同时，在接收的时候又不能引入各种电磁干扰。天线系统使用天调的时候，天调到天线的这部分馈线已经成为天线谐振中的一部分，而同轴电缆分布电容、电感较大，为了降低损耗，多波段天线使用天调，一般只采用平衡馈线来输送高频电流。除了馈线功率容限外，这就是为什么现代超大功率的发射台、广播电台也大多采用空气介质平衡馈线或扁平馈管而不用50Ω同轴电缆的原因之一。

无论我们采用手动或者自动天调，1:4的巴伦要直接接在天调输入端，不能用同轴电缆延长、过渡。有些爱好者为了图方便，不愿意把天调放到室外使用，结果达不到天线频宽、效率设计的要求，这些细节问题是我们需要注意的。至于天调至发射机的50Ω同轴电缆的长度，可以是任意的，但是也不要太长，过多的部分需减掉。

天线使用效果

使用此天线后，用EZNEC模拟测试的天线增益和前后比情况如下：

20m: 增益2.1 dBd. F_b > 18 dB

(20m之上前后比均大于18dB)

17m:. 增益: 2.8dBd

15m: 增益3.3 dBd

12m: 增益4.0 dBd

10m: 增益 5.8 dBd

6m: 增益10.8 dBd. Fb > 25 dB

这就是只有一个单元的天线所达到的效果！希望大家有空实验、制作。73！

ARRL《天线手册》内容简介

这本手册的内容非常丰富，总计28章的内容涉及了天线基础、天线建模与系统规划、多种应用天线、天线阵列、天线材料与附件、天线的接地系统与地面对天线和电波传播的影响、传输线、无线电波传播，以及天线与传输线的测量等，甚至包括了主要天线产品的供应商的概况。

ARRL《天线手册》自从1939年9月出版第1版以来，到本书已是第21版了，累计销售已过百万册，这充分说明这本手册的生命力。它不仅是广大业余无线电爱好者必备手册之一，也可以成为我国从事天线技术的科技人员、射频工程师以及相关大专院校师生的一本很好的天线参考书。

天线制作十二款之十二

◎刘燕北（BD2BH）

人人都能架设的低波段天线
——顶端容性加载型80m波段垂直天线

随着冬季的来临，邻省间近距离通信越来越受到“越距”现象的影响，往往几百千米至1000km左右的范围听不到任何信号，而数千千米以外通联效果却很好。那么产生这种现象的原因是什么？我们首先解释一下什么叫做“越距”。电波传输主要分三种形式：地波传输时地面对短波吸收损耗较大，信号传不远；空间波一般只是在视距范围内传输；靠电离层反射的天波辐射仰角相对较小，反射距离较远，因而使得一定距离的圆形区域内，成为无线的“静区”，收信机接收不到信号，这就是“越距”现象。

根据短波无线电传播的规律，我们一般都会根据时间、地域、季节和通信距离的不同变化，适当选取最高可用频率来克服“越距”。一般来说，在夏季，南方、白天，应选取较高的工作频率，如14MHz、21MHz、28MHz等；在冬季、北方、夜间，我们应当选用较低的工作频率，如业余波段的7MHz、3.8MHz等。实践证明，用对了最高可用频率，通联成功率可以达到80%~90%。按照这个特点，为了适时与国内和邻国爱好者通联，进入10月中下旬以来，很多地区都相继开通了低频段，如3.850MHz、3.855MHz国内地域性工作频点，很多人也因此加入到80m低波段通联的大军中来。同时，3.800 MHz DX窗口还会为我们通联为数众多的欧美等国家稀有电台带来了机遇。当然克服“越距”现象，除了适时选用最高频率外，就是选用高辐射仰角的所谓“高射天线”。

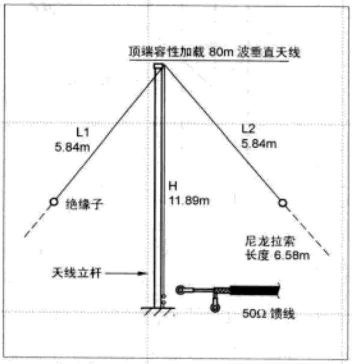


图1 天线结构图

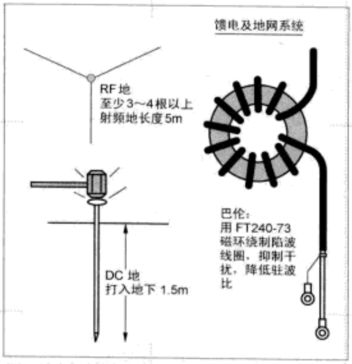


图2 馈电及地网系统

架设低波段天线有一个问题始终困扰着我们，那就是低波段天线目标大、占用面积广，很多爱好者没地方架设，一些建筑物不让架设大型天线。

本文介绍的这款全尺寸的80m垂直天线，就是一款随时随地、人人都能架设的低波段天线。本着结构简单、成本低廉、调试容易、效率较高的原则，天线采用了加载形式中效率较高的顶端加载（电容帽）形式，尽可能地减少了能量损耗，最大限度地提高了天线辐射效率，而且天线辐射仰角相对较低。我们也可在原有的天线立杆基础上轻易实现增加80m波段工作的梦想。

天线结构

此款天线采用 1/4 波长全尺寸，结构见图 1，此天线采用垂直极化，为了降低 80m 波段天线实际高度和制作难易程度，选用顶端电容性加载形式。

有人或许会提出，克服“越距”，垂直天线并不是最好的形式。对于这个问题我们完全可以放心，虽然1/4波长垂直天线的主波瓣在30°左右，但是在可用带宽内，这款天线由于特殊的设计，其辐射仰角从15°～80°分布得极为广泛，通信距离可一下就覆盖200～1800km。可见，产生“越距”的主要原因还是以电离层的高度、季节和时间的变化为主。

天线材料

这款天线为线天线形式。材料可选用截面积为2.5~3mm^{2}的多股或独芯铜质导线。天线立杆最好为竹竿、木杆等非金属材料。当天线立杆为金属支撑物时，天线垂直振子部分最好距离立杆8cm左右，以减少电磁波的耦合作用而降低天线的性能。

天线的架设

我们可以利用原来的天线铁塔、

立杆来悬挂本天线，也可以单独立杆。天线垂直部分长度为 11.89m，斜拉的两个“电容帽”每臂长为 5.84m，尼龙绝缘绳长度为 6.58m。这样可以保证电容帽与垂直辐射体有 29° 左右的夹角，避免两者靠得过近。人工射频地网用间隔为 120° 、长度为 5m 的 3 根简易地网。有条件的可适当增加地网的数量和基本长度，如铺设 20m、长 4 根的地网，进一步提高天线效率。陷波型巴伦可以用同尺寸的磁环（如图 2 所示）制作，也可以简单地用同轴电缆在 PVC 管上绕制。具体制作详见前几期《无线电》中有关巴伦制作的文章。

天线的调试

1. 天线架设完毕后天馈系统的检查。首先要检查馈电点馈线与陷波器、天线振子的连接，其次检查馈电点，馈线屏蔽网与大地、射频地网等天馈系统的可靠连接。天线架设因地制宜，垂直天线架设的高低与辐射仰角没有什么关系，一般最好能远离高大的建筑物。地网可以悬空，也可以平铺在地面上。

2. 如果在屋顶架设，有金属屋顶的，可以省略射频地网。馈电点直接焊接在金属屋顶的镀锌铁皮和金属结构架上，这种地网的效果要远远优于人工射频地网系统。屋顶没有彩钢瓦等金属防水结构的，直流地可接建筑的金属框架的钢筋上，以最短的距离进行焊接，射频地网仍需要加装3~4根。如果难以找到金属框架结构，直流地可以接在避雷带上，地网也需要按照设计安装。为了保证安全，第三种形式在雷电密集的地区、阴雨打雷天，天线一定要脱离主机，且交流电源一定要断开。

3. 根据天线分析仪或驻波表的测试结果，同时修剪（增减）“电容帽”两端的长度，这跟普通单极垂直天线的调整有所不同。细心的话，天线完全可以获得1:1的效果，天线可较好地覆盖75~80m的主要频点。

4. 有关立杆高度与天线谐振的几个问题。需要强调的是：天线全尺寸设计主要考虑的是效率的需求，无论那种加载形式，辐射体越长越好，加载部分越短越好，因此天线主体一般要尽量大于电容帽的尺寸。对于一些天线立杆相对较矮、铁塔较低或者新装机的用户来说，如果还感觉天线过高的话，在无法增满足天线设计基本高度的情况下，我们可按照以下几种方式加以解决。

一是采用电容加传统中部加感的形式。天线如果达不到11m左右的高度，天线呈容性，天线不可能谐振。我们在不改变“电容帽”长度的情况下，可在天线垂直部分增设一个电感，让天线电气长度达到谐振要求。为了提高效率，一定要在天线中部加装电感线圈，具体方法是在直径50mm的PVC管上用Φ2mm漆包线绕制30、40圈。如果天线高度本身与谐振频率相差不多，则可以简单地把天线垂直部分多余的导线绕制在PVC管上，然后根据天线分析仪检测的结果，适当增减电感线圈的匝数，必要时配合修剪电容帽长度。

二是增加电容帽的数量，减少天线对高度的要求。理论上我们可以在原有两个“电容帽”的基础上，再增加两只同样长度的电容帽。这样一来，虽然可以降低对天线高度的要求，但是天线谐振长度的计算就必须注意了。

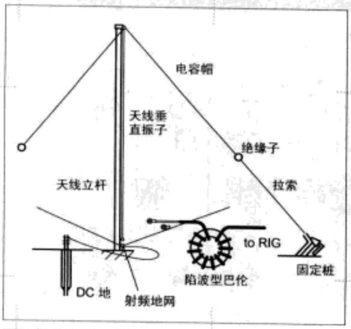


图3 天线装配示意图

我们知道最初的顶端“电容帽”加载天线，其基本形式为T型结构，1/4波长全尺寸天线谐振长度为：水平的部分长度+垂直高度。但是大型的，特别是低频段垂直天线，水平架设电容帽在施工上往往难以实现，因此多用“倒V”型结构。由于电容帽与大地和垂直辐射体分布电容等相关因素的影响，天线谐振长度与标准的T型结构会有一定出入。再增加两只电容帽，天线高度等尺寸就不大可能按照公式设计了。我们可以利用现有的天线高度，根据天线分析仪的测量结果同时增减4个“电容帽”的物理长度，靠实验适时调整，使其谐振。

三是利用天调进行调谐。方法比较简单：利用现有的天线立杆高度，在原有设计基础上同样增加两条同长度“电容帽”，然后再用自动天调或者手动电调，在天线底部加载。天线长了增加电容，天线短了增加电感自动进行修正。利用天调，或许我们还可以实现整个HF段的覆盖，因为天线为全尺寸结构，完全没有必要担心效率问题，其实好的天调自身损耗也就在3%左右。

上述80m“矮天线”的三种情况中，第二种形式效率最高，其次是第一种形式，最后一种也就是所谓的“懒人”天线调谐的方式。

天线试验结果

该天线经过一些爱好者的实际通联，在欧洲曾完成了全欧、印度洋中部迪戈加西亚岛以及日本、中国香港和澳大利亚等远距离的通信试验，在 CQ WWW SSB 比赛中，完成了 75 个 DXCC 国家的通联，每个通联对方都给了很好的报告，天线工作状况良好。而最难能可贵的是，该天线成本只有约 50 元。

如何测试音频放大器

◎牛歌

随着二手仪器市场的活跃，二手通用测量仪器的价位已经相当低廉，越来越多的爱好者装备了各种各样的仪器仪表。信号发生器和示波器已经成了不少发烧友的标准装备。为了充分发挥仪器在电子制作中的作用，下面以一台音频功放的基本测量为例，简单讲解一下音频放大器的基本测量方法和步骤，以作引玉之砖。

一 所需要的测试仪器介绍

1. 信号发生器

音频测量所使用的信号发生器为低频信号发生器，通常频率范围在0～2MHz之间，可输出标准正弦波、三角波和方波，输出频率和幅度均连续可调，有的信号发生器还自带频率计功能，可以方便地进行频率设定和测量。

笔者所用的信号发生器为EM1642型，面板见图1，在2Hz～2MHz的频率间设有6个波段，使用非常简单。

2. 示波器

示波器分为模拟示波器与数字示波器两大类，通常爱好者使用的多是模拟示波器。在音频测试中，数字示波器由于采样带来的数字噪声，显示的波形带有毛刺，在“保真度”上要比模拟示波器差一些，对于方波的过冲等显示不够准确细腻，这对观察波形是不利的，同时也不利于相关的调试。模拟示波器虽然在精确测量方面有所不足，但对动态波形的显示却比数字示波器更有优势。音频测试由于频率较低，对于示波器的性能指标要求不高，最常见的20MHz带宽的产品已经胜任有余。为了更好地比较输入输出波形，双踪示波器无疑比单踪示波器更为合用。

笔者测试所用的示波器为Y－Tektronix 2261型20MHz双踪示波器，面板见图2。功能介绍略。

测试时基本的连接见图3。

所有的音频放大器（如功率放大器、小信号放大器、运算放大器等）都可以简化表示为图3所示的放大器单元，只要搞清相应的输入、输出、供电端子，正确连接电源与信号通路，就可以进行测试了。

在连线的时候，虽然音频信号频率较低，对接线要求不高，但仍然要遵循一般的原则：接线尽量短粗，大小信号线要适当拉开距离，按照信号的流程顺序布置，有条件时加上屏蔽措施等。

信号发生器的输出加至音频放大器的输入端，信号频率和输入幅度根据需要调节；示波器的两个通道分别接待测放大器的输入和输出，以便于

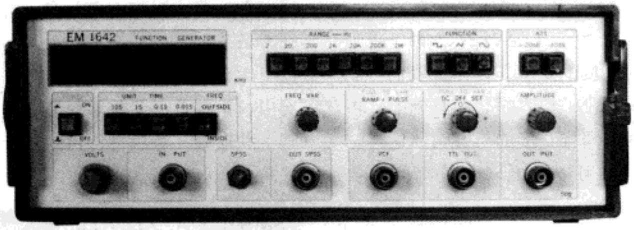


图1 测试用信号发生器

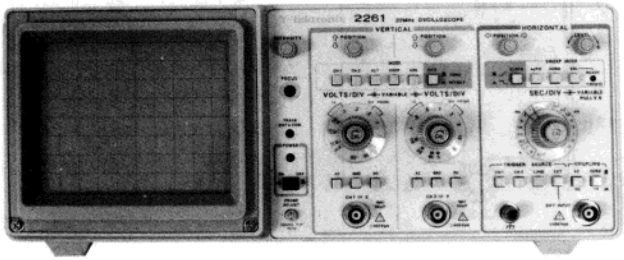


图2 测试用示波器

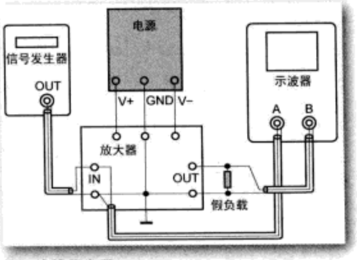


图3 连线示意图

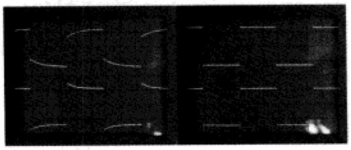


图4 表笔校准前后

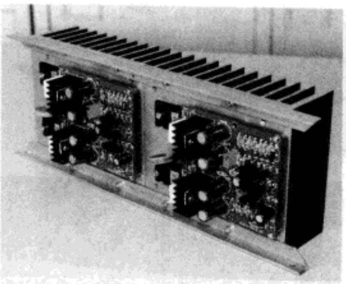


图5 测试用M5功放板

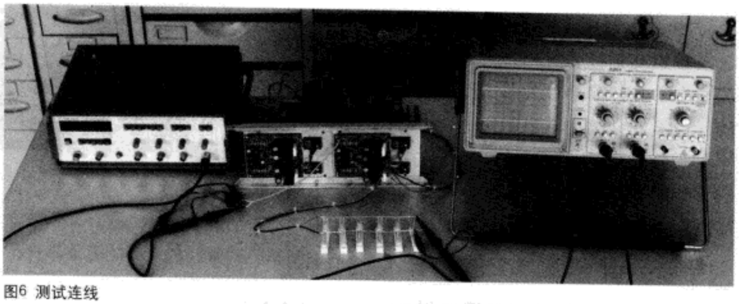


图6 测试连线

对比判断。实际使用时，也可以一个通道监测输入波形，另一个通道观测电路任意点的波形。只需注意两个通道的信号共地就可以了。

示波器的两只表笔应使用同一型号，而且带宽可以适当大一些，在测试前要进行校准，见图4。不同型号、不同带宽的产品对于高频信号的响应有细微的区别，在李沙育图形的观测中可以清晰地看出来。

二 测试方法

实测使用的是M5电流型音频功率放大板，实物见图5。虽然使用的是功率放大器，但对于小信号放大器，如前级板或运放的测试原理和方法是一样的。

实测接线图见图6。测试所使用的电源是DNC-450A型开关稳压电源，电压调至双40V。

加电和断电的顺序：加电时一般可以按照信号流程，由前至后进行。断电时则相反，由后至前。这样可以避免前面的设备在加电和断电时对后面设备的冲击。

1. 波形的观察

通常进行测试时，大家习惯于用正弦波进行，其实很多时候，三角波和方波的测试更为有用。由于正弦波的波形为曲线，且曲率连续变化，一般要到失真相当大时才能够有效地观测到，对于判断会造成一定的影响。三角波和方波理论上都是由直线条构成，观察和判读都更为容易，三种波形见图7～图11。三角波在观察交越失真和削波失真时更为直观，方波则在观察瞬态响应和测量转换速率时更为有用。所以建议大家在测试时充分发挥三角波与方波的特点，以得到更准确的测试结果。

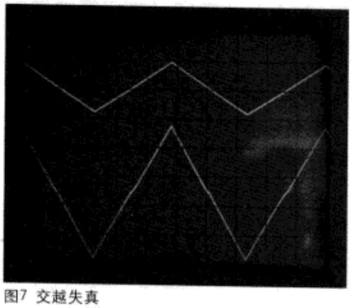


图7 交越失真

图7中上面的是放大器输入端的波形，下面的是放大器有交越失真时输出端的波形。这是由于末级晶体管偏置不足，在导通曲线的初始段的非线性造成的。在调整工作点，设定合适的静态电流后，交越失真消失。

M5功放板在各种频率条件下的波形表现，见图8～图11。可以看出，从低频到高频，都无法看出正弦波有什么区别，但在高频区域三角波和方波的表现却有明显的不同。由于开关电源的电压保持能力强，所以在带负载测试时，当输入直通时低频段的方波顶部仍然很平，通过输入电容时方波顶部会出现下降。如果换成工频电源供电，下降现象会更为明显。

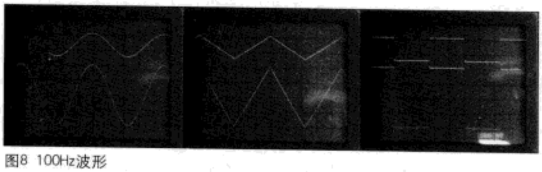


图8 100Hz波形

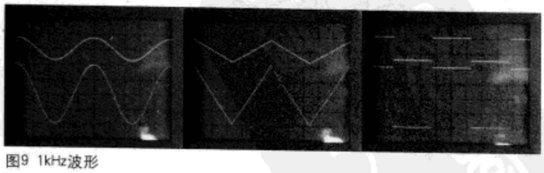


图9 1kHz波形

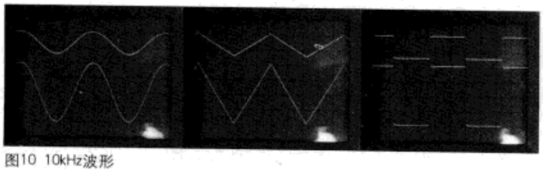


图10 10kHz波形

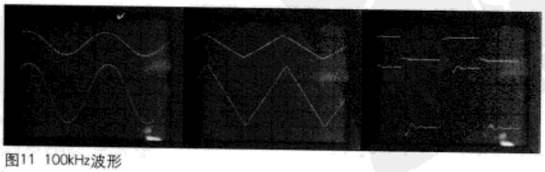


图11 100kHz波形

由于方波的高频分量多，在放大器接近高频极限时，方波的响应最先出现差异。如果放大器的补偿不准确，方波就会出现明显的变形，补偿不足时会出现过冲与振铃，补偿过量时则会明显变圆。三角波在高频端的尖角明显变圆，显示此时已经接近放大器高频的极限。

2. 放大器的带宽（电压频响与功率频响）

放大器的带宽，也就是有效工作频率的范围，有时也称为频率响应、通频带。主要测量放大器在不同频率条件下的输出幅度的均匀度和高低频段的输出保持能力。理想情况下应该是一根直线，实际情况高低频段都会有一定的下降。实际测试过程如下：

输入 1kHz 正弦波，记下此时的输出幅度，保持输入电压不变，降低或升高输入信号频率，到输出幅度变为 1kHz 时的 0.707 时，对应的频率点即为放大器带宽的下限和上限。上下限之间的频率范围就是放大器的有效带宽。

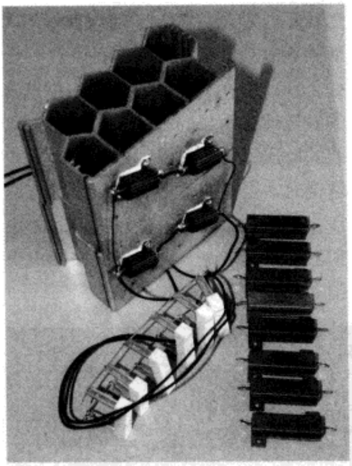


图12 各种假负载

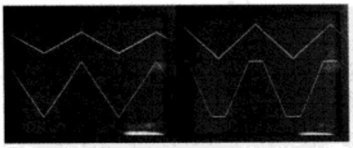


图13 削波临界、削波三角波形

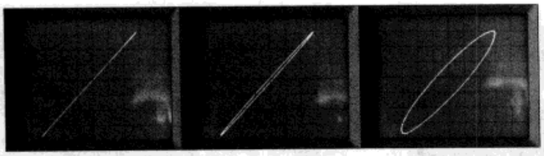


图14 1kHz、10kHz、100kHz正弦波李沙育图形

3. 带负载测量

我个人一直建议把重点放在带负载测试上，毕竟这才是最终放大器面临的实际工作条件。放大器的各项指标在空载和满载时会有较明显的差异。空载测试只作基本调试判断时使用，根据放大器最终使用的条件，加上合适的假负载时，测试的结果会更接近真实情况，也能给调试工作提供更准确有效的依据。本次测试中使用了6只62Ω/10W的水泥电阻并联作为假负载。假负载见图12。

带负载测试一般应在空载测试没有发现问题以后再进行。由于音频信号本身的大动态特性，音频放大器的测试一般不必要全功率进行，使用标准负载进行半功率测试已经比较充分了。需要注意的是，进行功率测试时频率不要加得太高，尤其是20kHz以上的方波测试要谨慎进行。这是由于方波的有效值功率高，而且高频分量多，一般放大器在高频段的稳定性会降低、损耗会增大，所以要注意安全，避免出现器材意外损坏。

实际操作时应该将输出电压值限制在供电电压的0.5~0.7倍进行。

4. 最大输出的测量

最大输出的测量使用三角波观察比正弦波更为直观、当三角波的尖顶开始变平，说明放大器出现了削波，见图13。此时的临界电压值就是放大器的最大输出电压。要注意加上假负载得到的最大输出才有意义。一般测量频率可以放在1kHz来进行。有兴趣的读者可以观察一下，放大器在不同供电条件下、不同负载条件下、不同工作频率下的最大输出是不同的。

图15 10kHz、100kHz三角波李沙育图形

如图13所示，M5功放板在本次测试条件下，最大输出电压值约为38V，输出功率约为70W。

5. 利用李沙育图形观察相移

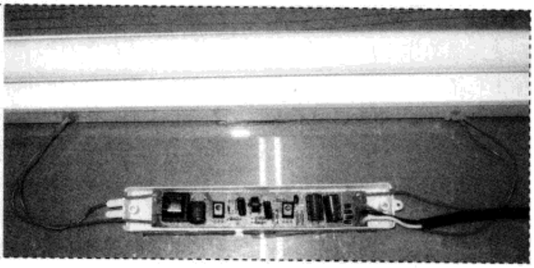
相移是由于放大器的频率响应特性，造成输出与输入之间存在相位差。在频率的高、低两端相位差更加明显。理想的放大器在所有频率上相移均为0。相移不仅是一种失真，而且还会对放大器的稳定工作产生影响，当相移大于90°时，放大器就有发生振荡的可能，达到180°时，就是一个标准的振荡器了。李沙育图形是利用X、Y轴信号的矢量积来显示波形，放大器测试通常使用正弦波来进行。由于正弦波本身的特性，当输入与输出信号的相位差为0时，显示为一根斜向的直线。当出现相位差时，会变成一个倾斜的椭圆，随着相位差的加大，椭圆也会越来越圆，倾斜也会越来越小。利用李沙育图形可以方便地观察放大器在各个频率上的相移。针对放大器的相移表现，可以有针对性地进行工作点的调整和频率补偿，以取得更理想的效果。

M5功放板在各种波形、各个频率下的李沙育图形见图14、图15。

示波器在电子制作中的应用

◎朱球辉　葛中海

电子镇流器的制作与检测



这是笔者给中山市高级技工学校电子技术专业二年级学生设计的一项实训课题。这里借助示波器观察关键工作点波形，根据波形分析工作原理，让大家在实践中体验示波器的应用。

一 概述

电子镇流器具有较高的功率因数、高工作效率、低波峰系数、重量轻、无闪烁、无噪声和使用电压范围较宽(170～270V)等优点，在我国已得到广泛的应用。本文介绍的电子镇流器不但性能好，而且电路结构简单、成本低，具有较好的应用前景——在珠江三角洲腹地有一个闻名遐尔的灯饰之都中山市古镇拥有几千家各类灯饰企业，电子镇流器就是他们名目繁多的产品之一。

二 原理分析

电子镇流器的完整电路如图1所示。

二极管VD1～VD4组成桥式整流电路，电容C1和C2串联滤波，实测P1点直流电压约280V，P2点电压约为P1点的一半。图2给出了P1和P2点的电压波形，可见滤波后的电压仍有相当幅度的纹波，纹波频率为工频的2倍。

图1中，CN1和CN2是本制作的两个输出接口，外接日光灯管两端的灯丝。

1. VT2导通期间，电流的方向以“虚线”表示

VT2导通时相位控制变压器产生反极性电动势阻止其电流的改变，1正2负（1脚为正极性、2脚为负极性，下同）。根据同名端可知5正6负，5、6绕组电压促使VT2在极短时间内饱和导通；3正4负，3、4绕组电压促使VT1基极反向偏置而截止。在这个过程中电容C1放电（电压降低）、C2充电（电压升高）。

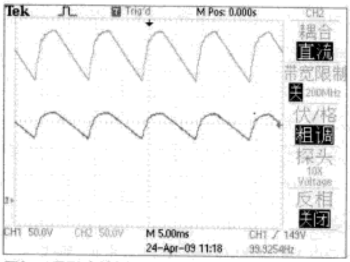


图2　1是P2点波形，2是P1点波形整流

2. VT1导通期间，电流的方向以“点划线”表示

VT1导通时相位控制变压器极性反转，1负2正。根据同名端可知3负4正，3、4绕组电压促使VT1在极短时间内饱和导通。5负6正，5、6绕组电压促使VT2基极反向偏置而截止。在这个过程中电容C1充电（电压升高）、C2放电（电压降低）。

C1和C2的作用相当于两个小型能量槽，储存一部分能量，这两个能量槽在高频方式下完成充放电功能。

从上面的描述可知，功率三极管VT1、VT2交替导通（任何时候VT1、

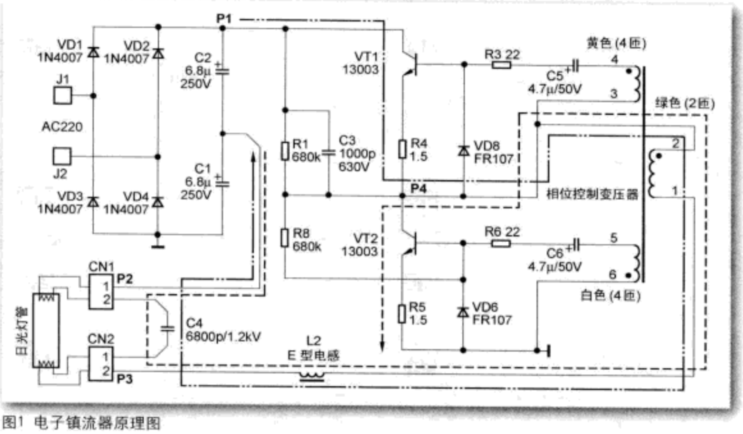


图1　电子镇流器原理图

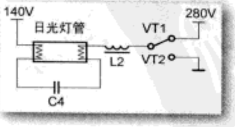


图3　电子镇流器等效电路模型

VT2都不可能同时导通，这就是相位控制变压器的作用），类似于推挽功放输出电路。由于相位控制变压器1、2绕组只有2匝，忽略它们两端的压降，在不考虑纹波电压的情况下把电路简化成图3所示等效电路模型。

读者可能会问：刚上电时究竟是VT1先导通还是VT2先导通？答案是VT2！因为它的基极通过电阻接P1，一旦VT2导通，相位控制变压器就承担起控制VT1、VT2轮流开/关，振荡就会连续不断进行下去。

图3显示VT1、VT2如同一个单刀双掷开关，VT1导通接280V，VT2导通接地，日光灯管一端接140V电源（在VT1、VT2一个开/关周期内基本不变），于是日光灯管、电容C4和电感L2在140V的（电）压差下自由振荡。

由上述分析可知，P4点是本制作的最重要电路节点——关键点！为了弄清该点的工作状态，我们借助示波器观察。为了对比，示波器CH1接P1点、CH2接P4点，图4、图5分别是“低频测试”和“高频测试”的波形。

从图4可以看出，在工频的半个周期内VT1、VT2开/关数百次，所以才观察到波形很密。高频测试拉开波形后，VT1、VT2开/关脉冲高度随工频电压的纹波增大而上升（当然，也会随纹波减小而下降）。

读者可能会问：怎么知道流过电子镇流器等效电路的电流呢？流过功率三极管VT2（或VT1）的电流可由R5（或R4）的电压大小间接度量，比如用示波器测量VT2发射极电压就可间接知道流过功率三极管VT2的电流，见图6。

由于功率三极管VT1、VT2交替导通，所以流过电子镇流器等效电路的是交流电流——VT1导通期间方向向左，VT2导通期间方向向右。R4、R5主要用来在VT1、VT2异常导通、电流较大时烧断保护之用。

由于日光灯管灯丝电阻很小（20W的日光灯管灯丝约3Ω），它们的在路压降也很小，所以CN2两端电压波形基本一样，图7、图8分别是“低频测试”和“高频测试”的波形。

从图8可以看出VT2每个周期开始导通时P3点电压最高，并在VT2导通期间逐渐下降，直到VT2截止时P3点电压最低。当然你也可以这样理解：VT1每个周期开始导通时P3点电压最低，并在VT1导通期间逐渐上升只到VT1截止时P3点电压最高（VT1、VT2互补通断）。另外，图7、8还显示VT1、VT2开/关频率约为25kHz，即工频的半个周期内VT1、VT2开/关约250次。

三 深入研究

前面多次介绍过相位控制变压器，它巧妙地控制着VT1、VT2互补通断。可能许多读者和笔者一样，很想知道它们的工作波形及各绕组之间的相位关系，究竟通过什么样的电压控制VT1、VT2的通断呢？好！下面我们就借助示波器来观察它的工作状态。

为了对比，示波器CH1接P4点、CH2接相位控制变压器5脚，波形见图9。图中相位控制变压器5、6绕组工作波形近似正弦波，在正弦波正半周VT2导通（VT1截止），负半周VT2截止（VT1导通）。

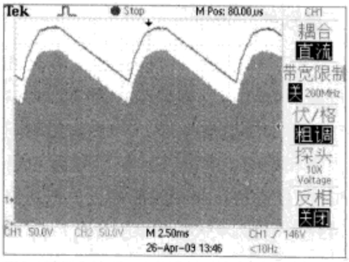


图4 1是P1点波形，2是P4点波形（低频测试）

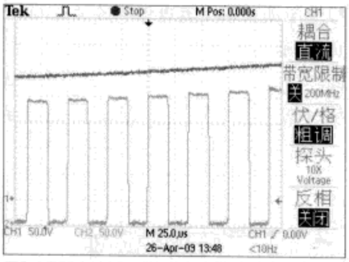


图5 1是P1点波形，2是P4点波形（高频测试）

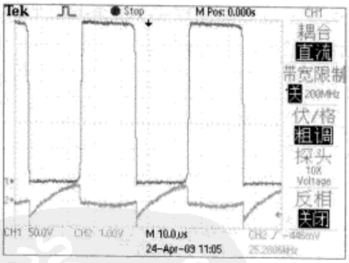


图6 1是P4点波形，2是VT2发射极波形

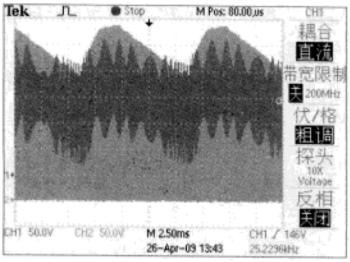


图7 1是P3点波形，2是P4点波形（低频测试）

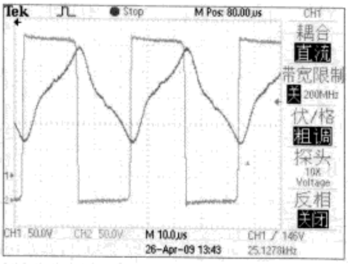


图8 1是P3点波形，2是P4点波形（高频测试）

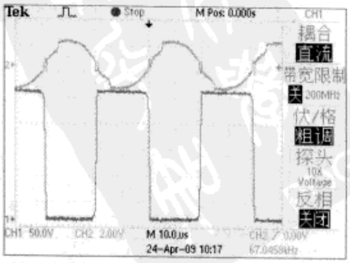


图9 1是P4波形，2是相位控制变压器5脚波形

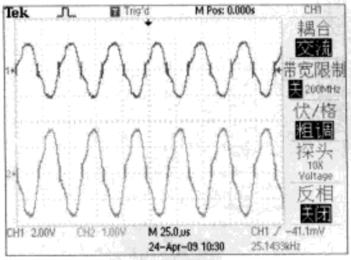


图10 1是相位变压器4脚，2是相位变压器1脚

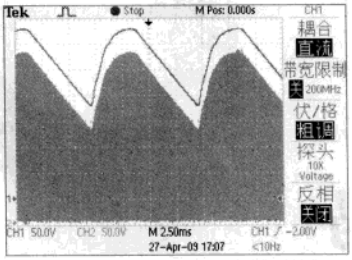


图11 1是P1点波形，2是P4点波形（低频测试）

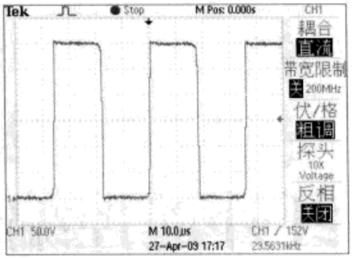


图12 P4点波形（高频测试）

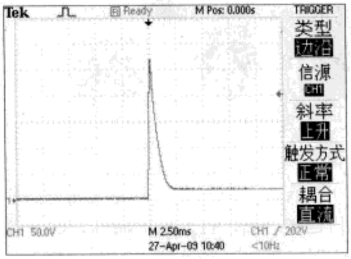


图13 空载上电时P4点波形

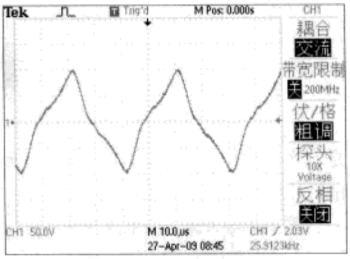


图14 正常工作时电容C4两端的波形

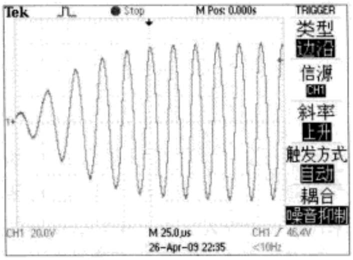


图15 上电时1kΩ电阻两端的波形

为了弄清相位控制变压器绕组之间的相位关系，把示波器地线接P4点（作为参考地），CH1接变压器4脚、CH2接变压器1脚，测试波形见图10。

图中相位控制变压器1、2绕组和3、4绕组的1脚和4脚波形近似正弦波、相位反相，同时显示3、4绕组的幅度比1、2绕组大些（CH1是2V挡，CH2是1V挡）。

推理：5、6绕组波形同1、2绕组，相位反相！

说明：相位控制变压器实际上是一个圆形磁环绕了三组线圈，每组匝数见图1，其中2、3脚并不是绕组绕制时连接在一起，而是PCB板布线时才连接的。

VD6（或VD8）的作用是当相位控制变压器5负6正（或4负3正）时给电容C6（或C5）提供充电通路，如此在下一个周期时能够配合相应绕组给VT2（或VT1）提供足够的基极驱动电流，所以VD6（或VD8）要用高速二极管（许多厂家为节约成本直接用1N4007）。

笔者用此电子镇流器带40W日光灯管，测试波形见图11。波形显示电源纹波更大，同时功率管开关频率也增大，见图12。

手摸功率管能明显感觉烫手，带20W日光灯管时只有温暖之感。

四 动态观察

笔者在写这篇文章过程中，一天晚上突然想到如果不接负载，P4点究竟处于何种状态呢？次日，笔者用示波器“强制触发”功能捕捉波形，启动瞬间P4点电压上冲到约270V，随后很快下降约16V并保持稳定不变，见图13。

继续深入探究，测量VT2基极电压约0.6V，显然VT2处于放大状态！想高高不了、要低低不下，最终维持平衡（空载时P1点电压为320V）。电容C3用于消除空载时VT2自激振荡和电网扰动。

正常工作时并联在日光灯管灯丝两端的电容C4两端的波形近似正弦波，见图14。图中显示近似正弦波峰-峰值为200V，这么低的电压怎么能使灯管内的惰性气体电离而引起弧光放电呢？为了弄清这个问题笔者借助示波器，选择“强制触发”功能捕捉上电时C4两端波形，实测显示该电压非常之高。

为了示波器的安全，在C4两端并联10kΩ+1kΩ电阻，然后上电启动，捕捉1kΩ电阻两端波形，见图15。该波形真实地显示了1kΩ电阻两端电压从无到有、从小到大直至稳定的过程。正弦波振荡频率约45kHz，峰-峰值约120V，根据电阻分压推算出C4两端峰-峰值应该为1320V，即电压峰值620V，这么高的电压足以击穿灯管内的惰性气体，使其电离而引起弧光放电，一旦日光灯管击穿点亮，C4两端就恢复到正常工作的水平，频率也会降下。

读者可能会问：这么高的电压是怎么出来的？由电容C4和电感L2高频振荡产生的！

C4是一个关键器件，对它的耐压要求很高，所以图纸中标注它的耐压为1.2kV。

用电脑声卡捕捉和分析红外遥控编码

◎吴巍

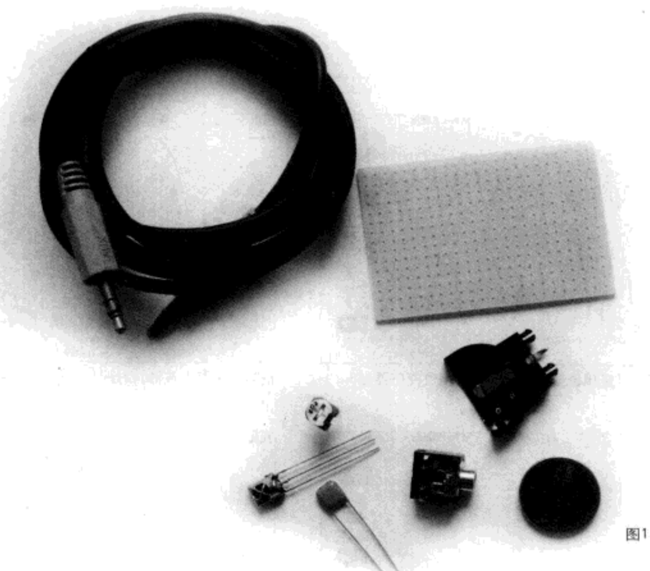


图1

玩单片机或者开发一些控制电路的时候，经常会用到红外遥控器来作为控制单元。在写单片机程序之前，需要具体了解红外遥控器发射出来的红外线信号的编码时序。在《无线电》今年第4期有篇文章告诉我们如何用数字示波器去抓取红外信号，那样可很专业，精度也高。但很多时候我们手头没有数字示波器，那怎么办呢？难道没数字示波器只能对着这些看不到红外线干瞪眼吗？电脑现在基本上大家都有，能用电脑来抓吗？笔者遂用声卡mic输入口来记录红外接收头接收到的信号，居然记录成功，于是有了下面这个成本低廉，取材方便的红外信号分析方法。

需要的零件如下(见图1)：

1. 3.5音频线一根
2. 洞洞板一块
3. 一体化红外接收头一个
4. 0.1μF电容一个
5. 10kΩ可调电阻一个
6. 3.5耳机插座一个
7. 3V电池一颗(3-5V电压即可)
8. 电池座一个

线路见图2，这里用了电脑声卡的mic接口作为记录输入口，输入线选择耳机座子L通道（最外圈），不能焊接错了，否则会记录不到声音。

在用音频线和电脑声卡的mic接口连接好后，打开话筒输入，这时候用遥控器对这红外接收头按按键，电脑音箱应该会传出红外码的脉冲波声音。硬件部分就这样设置好了。

音频分析制作软件很多，这里我们用Cooledit 2.0。下面以一个Philips的遥控器为例（见图5），详细说明如何用Cooledit分析红外线代码。

要分析红外信号，首先就是要把按键时发出的红外信号捕捉下来。

打开Cooledit，点图6中按钮，出现方框里面的图样即可。新建一个文

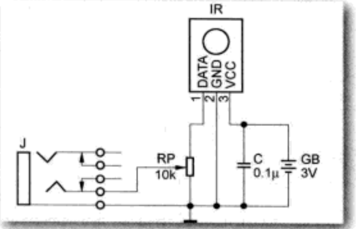


图2

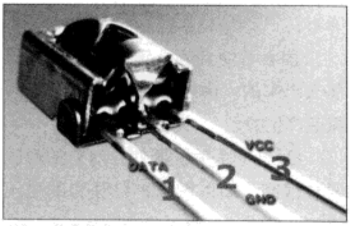


图3 一体化接收头引脚功能

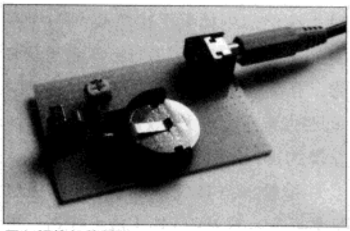


图4 焊接好的样子

图5

图6

图7

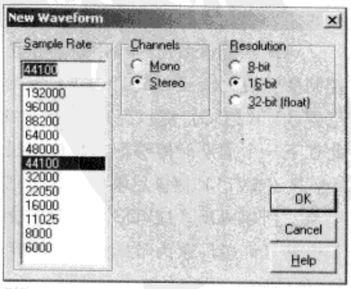


图8

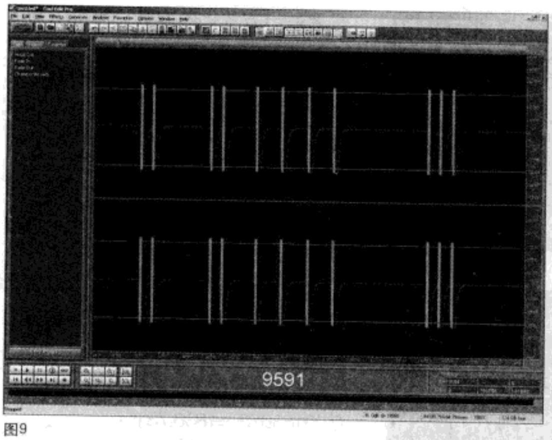


图9

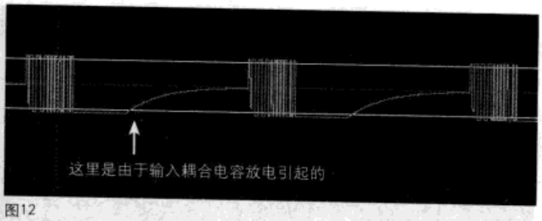


图12

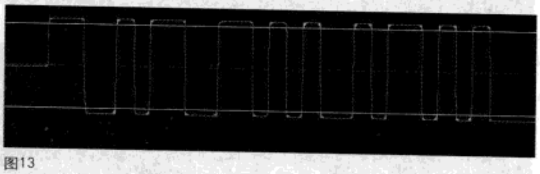


图13

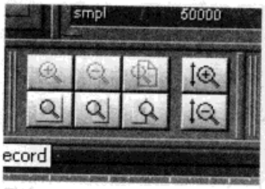


图10

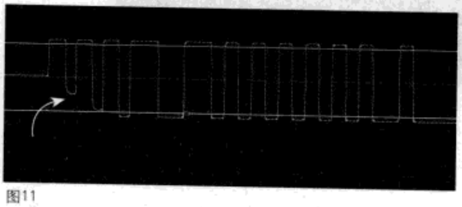


图11

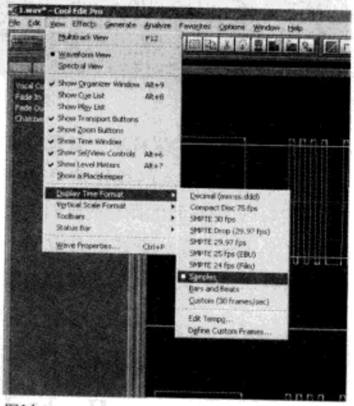


图14

件，点图7中按钮出现图8所示窗口，选择采样率为44.1kHz、立体声、16bit数据。按下图9中的录音按键，用遥控器对着接收头，按下数字键1，会出现图9所示波形，这时候再按录音或者停止按键，就会停止录音了，红外信号就被记录下来了，到这里我们已经成功了90%了。

按图10里面的按钮，或者将鼠标移动到一个红外信号上，转动鼠标中间滚轮展开波形。展开后的波形，可能你会得到图11所示的波形，其头方波有缺失，这是因为声卡输入耦合电容速度不够快引起的（或者是高频特性不好）。这时候，调节下板子上的可调电阻，加大输入信号，调节系统音量控制器里面话筒的输入大小，一般可以解决这个问题，抓出来的波形见图12。

可以看到两个连续的波形之间可能存在一道弧线，这个是耦合电容放电引起的，可以忽略，不影响分析，继续展开波形如图13所示。一个漂亮的红外波形被我们记录下来了，这时候你可以点击file—save as，将波形保存下来，以后随时用随时打开。

接下来我们来具体精确分析这段脉冲的脉宽大小。设置一下Cooledit的时间显示格式，我们选择设置显示采样点，如图14所示。

我们在最开始新建文件的时候，

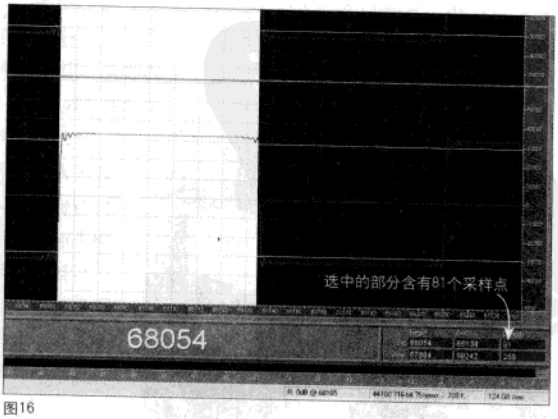


图16

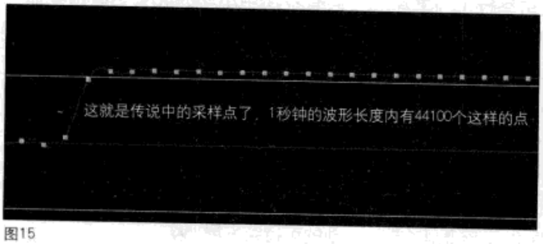


图15

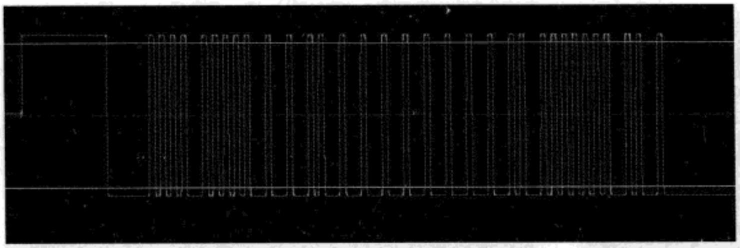


图17

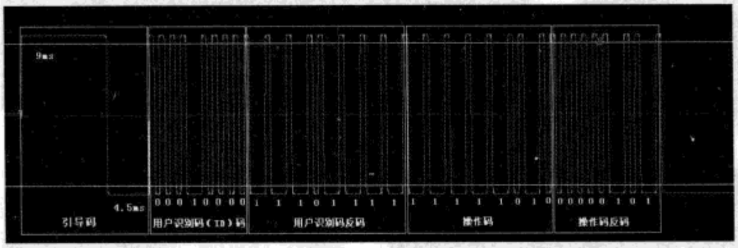


图18

选择的是44.1kHz的采样率，就是声卡会在1秒钟内对输入的模拟信号采样44100次；如何在我们抓到的波形里面看到这个采样点呢？继续展开波形，看到采样点了吧？如果刚开始是设置成48kHz的采样率，那1秒钟的时间内就有48000个点了，可以设置得更高，但如果声卡不好，也许效果就没那么理想了。

看到这里，也许你就会想到了，只要数出方波上的点数，就可以知道这脉冲长度了。是的，的确是这样，两个采样点直接的时间长度是1/44100秒，采样点数×（1/44100）=脉宽时间长度。

当然，我们不需要自己一个一个点去数这些采样点了，Cooledit是个强大的工具，要好好利用利用的。

用鼠标拖选一段脉冲，如图16所示，在Cooledit右下角就会帮你数出点数啦。

这段时间长度就是81×(1/44100)=0.00183673s=1836.73μs

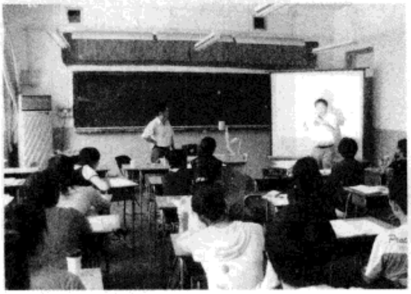
知道了时间长度，根据红外遥控编码手册，就可以知道是属于哪种类型的红外码了。对特殊的红外遥控器，多次对比代码，找出共性，就可以研究出解码程序了。

再抓一个和《无线电》第4期相关文章一样类型的红外信号见图17，怎么样，效果不比数字示波器逊色吧？按编码协议，分析可得到如图18的结果。

普及智控技术　教师培训先行

北京市西城区单片机与机器人活动教师培训班举办

随着智能控制技术的快速发展和广泛应用，与此相关的青少年科技活动逐渐在中小学展开，受到学生和家长的欢迎。由北京市教委学生活动管理中心、北京市单片机协会主办的北京市中小学生电子智能控制（单片机）竞赛活动，已经成功举办了10届，在培养青少年电子科技爱好者、选拔电子智能控制人才等方面取得了卓越的成效。



2009年6月5日，在北京市西城区青少年科技馆举行了“单片机与机器人活动教师培训”第一期讲座。此次培训由西城区青少年科技馆、超简单单片机学习网联合主办，讲座以普及知识、理清概念、介绍方法为主要内容，为各校自主创新地开展好单片机与机器人活动提供了经验和启示。附图为高级工程师、超简单单片机学习网站站长席卫平先生和西城区青少年科技馆电子培训部老师、西城区创新发明工作室主任尹华军先生在进行现场讲解。

本次活动得到了各校大力支持，共有27所中小学的40余名教师参加了此次培训。北京市西城区教委校外办马志红副主任全程指导。后续的培训，还将根据各校的不同需求，使单片机的教学培训呈现多样化、层次化、递进化，并能与校内的学科学习、科技活动更好地结合，实现青少年单片机与机器人活动的可持续发展。

手机也能看波形（上）

——用蓝牙模块给虚拟示波器添加无线连接功能

◎王一

本刊曾介绍过USB接口的虚拟示波器，电路通过USB接口把测量数据传送到电脑中进行显示，使得系统成本减小。

现在的笔记本电脑、智能手机上一般都配有蓝牙装置，常常用来连接一些蓝牙设备，如人们所熟知的蓝牙耳机、蓝牙键盘等，如果我们在虚拟示波器上加装一个蓝牙模块，那不是就可以用无线的方式进行连接了吗？接下来本文就以FlashDSO虚拟示波器为例，详细讲述如何一步一步进行改造。开始前我们先探讨一下下面的几个问题：

一 为什么要增加无线连接

1. 便携式仪器 VS 基于智能手机的虚拟仪器

智能手机（SmartPhone）是指带有独立操作系统的手机，它是从掌上电脑（Pocket PC或PPC）演变而来的。最早的掌上电脑不具备手机的通话功能，但是随着用户对于掌上电脑的个人信息处理方面功能的依赖的提升，同时又不习惯于随时都携带手机和PPC两个设备，所以厂商将掌上电脑的系统移植到了手机中，于是才出现了智能手机。目前智能手机有以下几类操作系统：Windows Mobile、Symbian、Linux、Palm、Mac OS X等，其中Windows Mobile是由微软公司提供，在市场上占有大多数份额，第三方软件支持较多。本文所用的智能手机就是基于Windows Mobile操作系统。

其实，目前虚拟仪器的一个趋势是向着可移动、可便携、网络化、低功耗（可电池供电）、可软件升级等方向发展，而传统的便携式仪器基本上是功能单一，不能升级，使用不同的功能需要购买不同的便携式仪器。如果使用基于智能手机的虚拟仪器，您所作的工作只是更换不同功能的采集器和采集软件，总体成本就会少一些，同时测量软件可以随时升级，同专家们共享最新的测量技术。

2. 蓝牙连接 VS 有线电缆

基于智能手机的虚拟仪器，到底是使用蓝牙连接还是有线电缆呢？当然两种方式各有千秋，蓝牙连接可以提供一个至少10m半径的空间进行无线连接，使用非常方便，同时它提供的传输速度也很快，可以作为很好的隔离测量方式，而有线电缆通过物理的连接，传输数据非常可靠且不易受到干扰。由于我们是要使用智能手机进行连接，所以我们还是选择蓝牙，因为现在的智能手机基本上不提供电缆连接的接口，而都使用蓝牙了。

3. 应用场合

基于蓝牙连接的智能手机虚拟仪器，不仅可以代替常规的虚拟仪器在普通的场合进行测量，同时还可以在户外和一些特殊的场合使用，比如在一些高温、高压、有害气体、大电流的测量环境，工作人员无法直接接触，如果这时使用基于蓝牙连接的智能手机虚拟仪器，将会非常理想。另外，在一些综合测量环境中，比如汽车维修测量，工作人员经常需要操作汽车的一些设备以便测量各种传感器的数据（人也不会在一个固定的位置上，会经常移动），如果这时使用基于蓝牙连接的智能手机虚拟

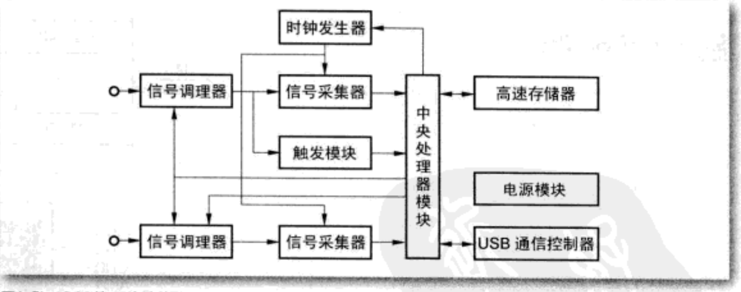


图1 FlashDSO的硬件结构图

表1

模块名称	功能描述
信号调理器	主要完成信号的放大、衰减、电平变换等功能
信号采集器	主要完成信号的模数转换并存储数据
触发电路模块	主要设置触发模式，对信号进行触发上升沿、下降沿等
时钟发生器	主要设置时钟分频 1-2-5进制
电源模块	主要为仪器电源供应的模块
中央处理器模块	主要处理和主机通信及设备控制
USB 通信控制器	主要和主机的USB通信

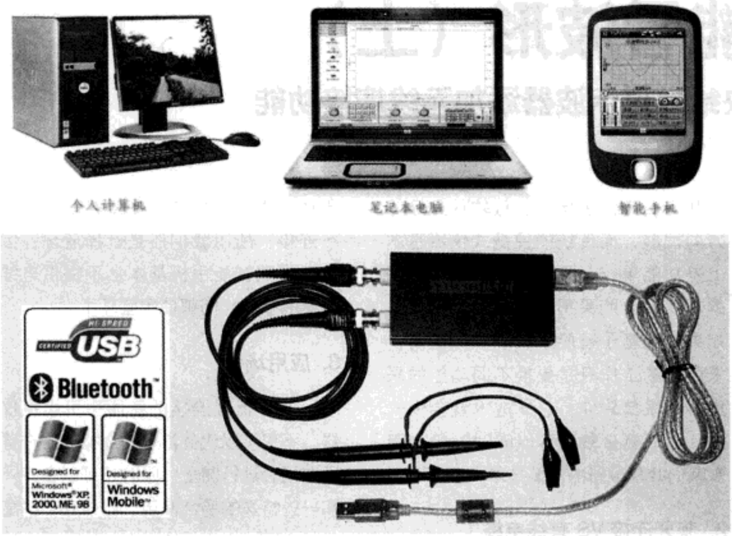


图2 FlashDSO数字存储示波器连接示意图

仪器，将会使工作人员非常容易地及时观测数据，对汽车整体的情况会有一个比较清楚的判断。

以上介绍了基于蓝牙连接的智能手机虚拟仪器的一些基本情况，下面我们以Flash DSO虚拟示波器为例介绍如何将其改造为基于蓝牙连接的智能手机虚拟示波器。

二 FlashDSO 简介

FlashDSO是一款USB接口的数字存储示波器，在国内具有较高知名度。FlashDSO 经过多年的发展目前已经非常稳定，在国内及国际上拥有很多的用户，多为学校、公司、工厂、个人等购买使用，更多相关的信息请浏览其官方网站：www.ost2002.com。下面我们详细介绍FlashDSO的系统结构及其相关信息，FlashDSO有两种型号F-24U（40MHz采样）和F-210（100MHz采样），文中以F-24U为例，相关描述同样适用于F-210。

FlashDSO的硬件结构图如图1所示，包括信号调理器、信号采集器、触发电路模块、时钟发生器、电源模块、中央处理器模块、USB通信控制器等。具体描述见表1。其应用系统连接图见图2，可以连接个人计算机、笔记本电脑、智能手机等，支持USB连接、串行接口等方式，支持Windows 98/ME/2K/XP 操作系统，同时也支持PocketPC 2002/2003 Windows Mobile 5.0/6.0等智能手机操作系统，FlashDSO 提供最高100MHz采样率，双通道(真双采集引擎)的采集器。

三 蓝牙DIY改造

1. 蓝牙简介

蓝牙是一种支持设备短距离通信（一般是10m之内）的无线电技术。能在包括移动电话、PDA、无线耳机、笔记本电脑、相关外设等众多设备之间进行无线信息交换。蓝牙的标准是IEEE802.15，工作在2.4GHz 频带，带宽为1MB/s。

2. 蓝牙模块

FlashDSO 专用的蓝牙模块，使用了CSR BlueCore4，单片蓝牙系统Class2蓝牙版本2.0+EDR、传输距离大

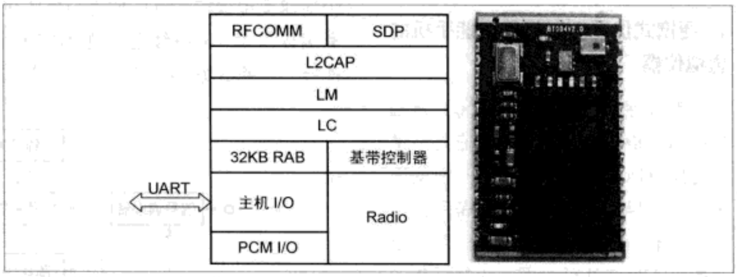


图3 蓝牙模块及RFCOMM协议栈

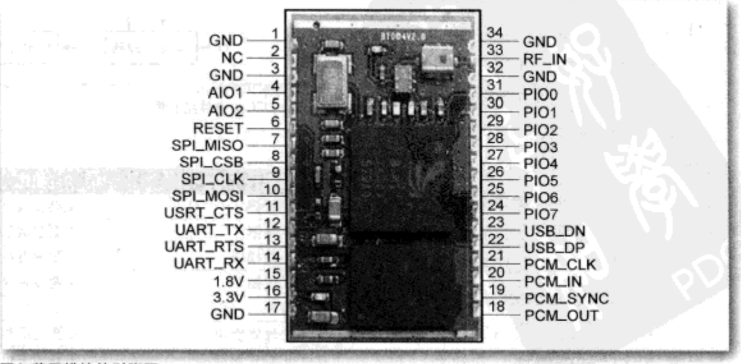


图4 蓝牙模块的引脚图

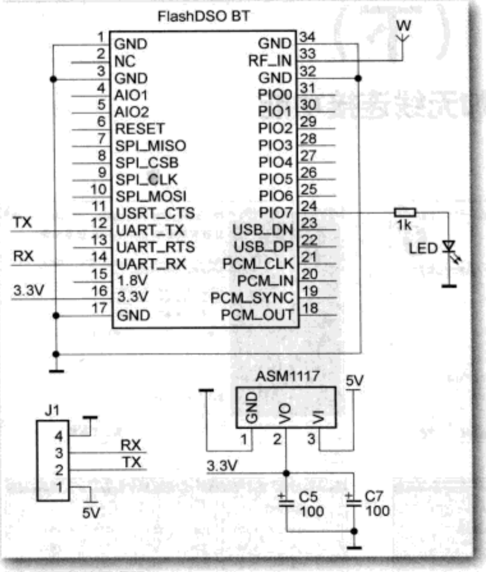


图5 蓝牙模块原理图

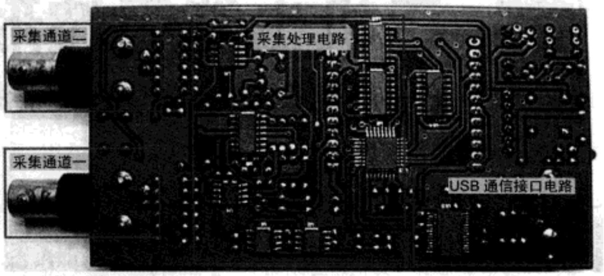


图6 电路板的实物图

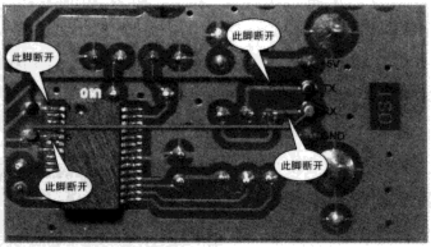


图7 电路改装示意图

于10m。此蓝牙模块使用了RFCOMM协议，即将蓝牙通信仿真为串行通信，其具体的蓝牙模块的实物图及协议栈见图3。

在此我们不讨论蓝牙RFCOMM协议的详细内容，有兴趣的读者可以自行去找相关资料查阅。我们只要知道蓝牙RFCOMM协议就是把蓝牙无线通信转化为计算机常用的串口通信，在计算机上只要对蓝牙串口进行操作就可和蓝牙进行通信，不需要了解蓝牙无线底层通信（协议非常复杂），简化应用接口。

3. 蓝牙改装

对于FlashDSO的USB接口，USB接口芯片和FlashDSO内部的数据通信使用了串行通信的接口方式，即使用UART的通信协议，所以如果要替换USB接口芯片，需要断开原来的USB接口芯片的连接线，然后连接蓝牙模块。

蓝牙模块的引脚图见图4。

其中蓝牙模块中最重要的引脚为PIN12（UART_TX）和PIN14（UART_RX），通过它可以和FlashDSO的核心处理器进行通信。

当读者自己有蓝牙模块或者购买了相应的蓝牙模块（目前的市场价格大约为70元人民币），按照下面的步骤即可完成FlashDSO的蓝牙改装：

步骤一：

准备基本工具（万用表、螺丝刀、电烙铁等）和蓝牙模块，按照下面的原理图（图5）焊接好，电源使用外接5V直流电源，或者使用4.2V的锂电池（需升压到5V），注意连接电源一定要小心，接反了会烧掉电路，切记！切记！

有条件最好做个电路板，也可以使用万能电路板自己焊接一个，天线使用一根8cm的导线即可，在图5中，J1可以使用USB的插头，以便焊接好的蓝牙模块可以直接插到FlashDSO的USB插座上。

步骤二：

打开FlashDSO的采集盒，就会出现电路板的实物图，见图6，主要要留意图片中方框内USB通信接口电路的电路，对FlashDSO作蓝牙改造的地方就在此处，需要用蓝牙模块来替换USB接口芯片，这样就可以将FlashDSO升级为蓝牙接口，具体的细节参见步骤三。

步骤三：

将蓝牙模块的4条线连接在如图7所示的位置上，注意要防止静电，不要带电作业。注意连接电源一定要小心，接反了会烧掉电路，请先用万用表测量。切记！切记！

先将图片中有指示的地方断开，蓝色线的两个接点、红色线的两个接点焊接在一起。再通过USB接口插座输出与图5的蓝牙模块对应接上即可。确定无误后将电路板安装进采集盒，完成改装。

4条线（注：图5中J1和 图7的标注要一一对应）为：

1．VCC +5V电源；2．TX；3．RX；4．GND 地。

这样FlashDSO的蓝牙版就准备好了。当然如果嫌麻烦，也可以直接购买FlashDSO的蓝牙套件。接上电源，蓝牙模块的LED就会开始快速闪动。现在就可以用手机连接蓝牙示波器，并用相应的软件显示波形。下一期将介绍具体的软件设置及操作步骤。

手机也能看波形（下）

——用蓝牙模块给虚拟示波器添加无线连接功能

◎王一

在上期《无线电》中，我们讨论了如何对FlashDSO进行蓝牙的DIY改造，在改造完成后，我们将其称为蓝牙版FlashDSO，下面我们接着讨论蓝牙版FlashDSO的软件设置和使用。

蓝牙模块提供至少10米的无线连接距离，可以和有蓝牙接口的PC计算机和PPC智能手机连接，下面将分两种平台介绍其安装过程（注：PC使用WINDOWS自带的蓝牙设备管理器，PPC使用WINDOWS自带的蓝牙设备管理器，当使用其他的蓝牙管理器如IVT、WIDCOMM等蓝牙管理器时，基本原理类似，请参照此文档自行设置，在此不一一描述）：

一 PC机安装

当计算机系统有蓝牙适配器时，在电脑屏幕的右下角有一个蓝牙图标：如图1所示。

在蓝牙图标上点击右键，弹出如下菜单，如图2所示。

图1

图2

选择“添加Bluetooth设备”，将出现一个添加向导界面，同时将FLASH DSO BT基于蓝牙接口的数字存储示波器的电源打开，其蓝牙的连接LED会快闪，表明蓝牙设备正常（其配对密码为：0000）等待连接（图3）。

图3

选择“我设备已经设置并且准备好，可以查找（F）”，点击“下一步”按钮进入（图4）。

图4

搜索会发现一个叫“FLASHDSO”的蓝牙设备，选择它，点击“下一步”按钮进入（图5），选择“使用文档中找到的密钥”并输入0000，点击“下一步”按钮进入（图6）。

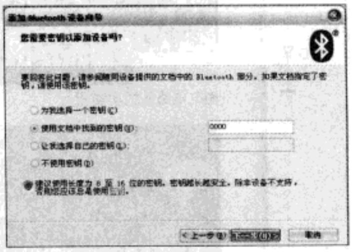


图5

图6

系统开始连接FlashDSO BT，并分配给蓝牙示波器两个COM端口，重点要记住“传出COM端口号”，因为系统要使用它和FlashDSO BT蓝牙示波器通信。至此Flash DSO BT蓝牙示波器就安装完成。

PC机上需要安装FlashDSO Ver9.6以上的版本（因为Ver9.6才支持蓝牙示波器），具体的安装请参见**www.OST2002.com**网站上的《FLASH DSO XP 安装使用手册》，这里不再详述，只是介绍一下系统在蓝牙方面的系统设置内容。

启动FlashDSO软件后，在界面的“系统设置”中选择“数据采集设备”，界面如图7所示。

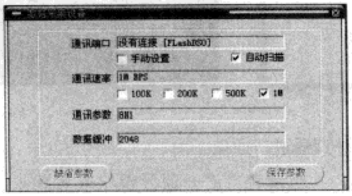


图7

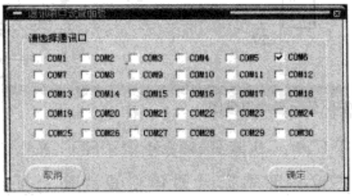


图8

在“通信速率”中一般选择“1M BPS”，当蓝牙通信不稳定或者通信距离较远时或者附近有信号干扰时，可以往下调低通信速率。

在“通信端口”中选择“手动设置”（由于无线连接的原因，蓝牙系统建立无线链接需要一定的时间，所

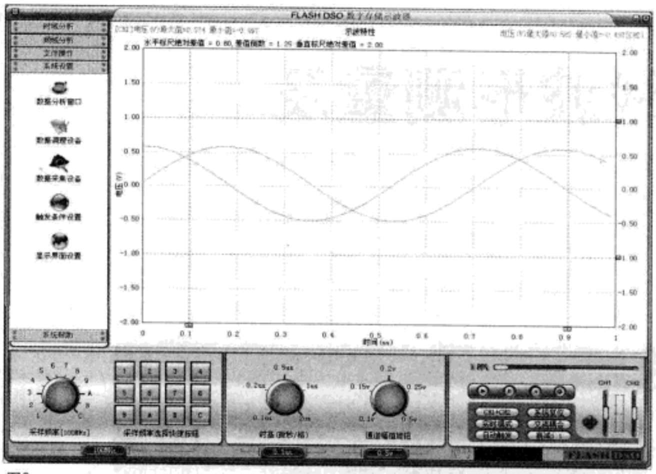


图9

以通信端口的工作模式不能选择“自动扫描”而要使用“手动设置”）进入下个画面（图8）。

需要选择蓝牙设备“传出COM端口”编号，而不是“传入COM端口”！

设置成功后，重新启动FlashDSO程序，连接成功后（蓝牙的连接LED会慢闪），就可开始测量了。实际的效果（通信距离5m内，速率为1M BPS）见图9。

二 PPC智能手机安装

启动智能手机，在“通信管理”打开蓝牙适配器，同时在“设置”菜单中选择“蓝牙设置”，具体画面如图10、图11所示。

设置蓝牙，“添加新设备”，系统将会发现一个叫“FLASH DSO”的蓝牙设备，如图12、图13所示。

点击“FLASHDSO”进行连接，输入密码：0000，完成后，系统提示“您的Pocket PC已和FLASHDSO连接”（图14、图15）。

选择FLASHDSO提供的“串行端口”服务，并设定“通信端口”，请记住此端口号（图16、图17）。

在PPC上需要安装FlashDSO For PPC Ver 2.1版（图18），此版支持蓝牙通信功能，在此需要设定“通信速率”和“通信端口”。

在“设置通信速率”中一般选择“1M BPS”（图19），当蓝牙通信不稳定或者通信距离较远时或者附近有信号干扰时，可以往下调低通信速率。

在“设置通信端口”中选择蓝牙的通信端口号（图20）。设置好后，重新启动FlashDSO应用程序，即可开始测量，实际的效果（通信距离5m内，速率为1M BPS）见图21。

现在您就可以随意测量信号了，开始愉快的测量过程，通过蓝牙接口，您自己的智能手机也发挥了用途。当您在野外或者不便提供电源的地方，您就可以使用手机测量了，方便快捷。对于测量环境比较恶劣的地方（如高温、高压、有害气体等）使用FlashDSO蓝牙版也是不错的选择。

当然，由于本文重点是介绍智能手机通过蓝牙来连接FlashDSO虚拟示波器，实际上只要个人计算机或笔记本电脑有蓝牙接口都可以来连接基于蓝牙接口FlashDSO虚拟示波器。

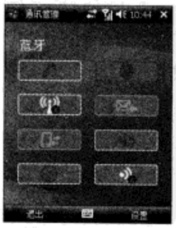


图10

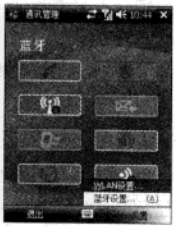


图11

图14

图15

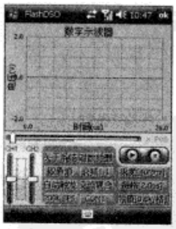


图18

图19

图12

图13

图16

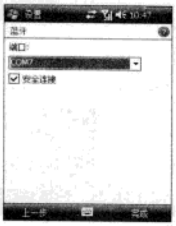


图17

图20

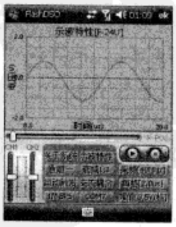


图21

数字示波器使用技巧

◎黄培根　凌锋

I²C和1-Wire总线波形测量及使用注意事项

I²C总线和1-wire单总线在目前的电子设备互连中，应用非常广。1-wire单总线是Maxim全资子公司Dallas的一项专有技术，与目前标准串行数据通信方式I²C不同的是它采用单根信号线传输，既传输时钟又传输数据，而且数据传输是双向的。它具有节省I/O口线资源、结构简单、成本低廉、便于总线扩展和维护等诸多优点。

I²C和1-Wire总线提供的效率和简化电路的设计均衡，各厂商提供了种类非常丰富的I²C和1-Wire总线兼容芯片。I²C总线规范于20年前发布，作为一个专利的控制总线，I²C已经成为世界性的工业标准，1-Wire总线则以一线连接，特别是在一些传感器领域，如DS18B20一线式温度传感器等应用中更简便。很多时候，在使用单片机器件来模拟(注：很多器件有专用的I²C总线接口，如PHILIPS的P87LPC764单片机等，但有些单片机就没有专用的I²C总线接口，这里指没有专用的I²C总线接口器件)I²C和1-Wire总线的时序时，设计者为了程序设计需要，往往希望清晰地看到总线bit位波形。本文将以DS18B20一线式温度传感器为例，介绍如何通过数字存储示波器对两种总线时序波形进行观测的方法和使用这两个总线时需注意的几个问题。

一 时序波形的观察和测量

普通的示波器是不能详细及全面地观察时序波形的（指不能同时兼顾观察两通道周期长短不同的波形），数字存储示波器专用的总线波形触发功能，可设置使用复杂总线条件触发，就可以弥补这一缺陷。下面我们介绍怎样用数字存储示波器观察和测量I²C和1-Wire总线的时序波形，来检查和修改我们设计的模拟通信时序。

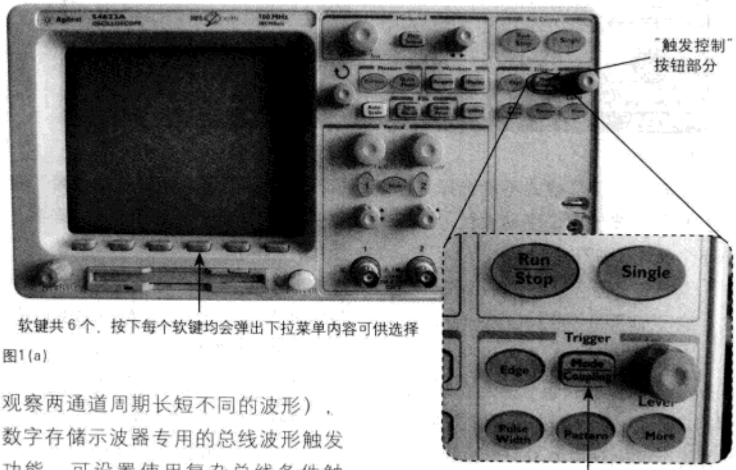


图1(a)

图1(b)

1. I²C时序波形的观察和测量

（1）按下存储示波器面板右上角Mode/Coupling键(注：本次实验使用安捷伦数字存储示波器型号为Agilent54622A，其面板及“触发控制”部分局部放大图参见图1(a)、(b)所示，安捷伦其他型号及其他品牌的数字存储示波器，如“泰克”等均可使用)，接着按下Mode软键[参见图1(b)]，在触发类型中有Normal、Auto或Auto Level可供选择。通常我们使用默认的Auto选项，但这里应选择Normal模式，显示符合触发条件时的波形，否则示波

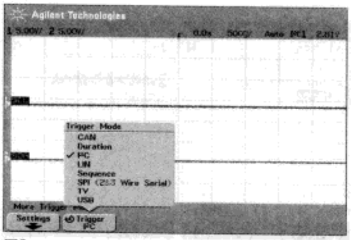


图2

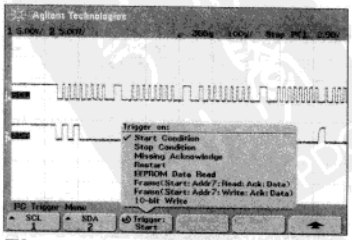


图3

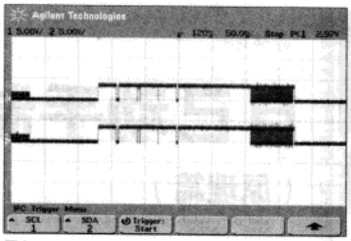


图4

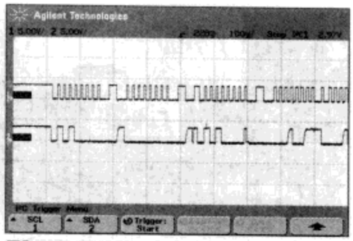


图5

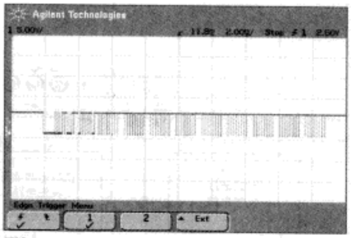


图6

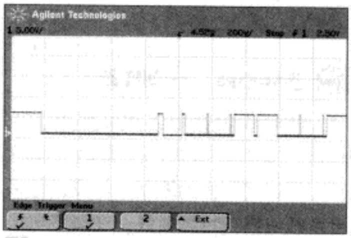


图7

器不触发，显示屏也不更新。

(2) 按下面板 Trigger 部分的 Mode 键 [参见图 1 (b)]，并在弹出的 Trigger More 菜单中选择 I²C，如图 2 所示。

(3)单击 Settings [参见图2左下角] 进入设置 SCL 及 SDA 的测量通道。

(4) 按下 Trigger 软键选择以下 I²C 触发条件。我们这里选 Start Condition 启动条件（注：当 SCL 时钟为高时，示波器在 SDA 数据从高到低跳变时触发），除了这个选项外，还有“Stop Condition 停止条件”及“Missing Acknowledge 丢失确认”等，可参阅图 3 所示下拉菜单，用户根据需要选择。图 4 是我们使用 Start Condition 启动条件，在读取 EEPROM 之 24C02 时的触发捕获的波形。

现在我们展开我们捕获后的波形，如图5所示。从图5的下方波形可以看到：前面是24C02的地址操作，发出读24C02的寻址字节1010 0000 (SDA) 即0A0H (初始为高，第一个低电平过后开始，24C02 所接硬件地址为 A2A1A0=000，寻址字节关键时序是 1010，加地址000再加一个方向位，“0”为读“1”为写)，接着，24C02 在第二个周期开始发出寻址确认应答信号，即主机释放总线，被外部上拉电阻上拉为高电平，24C02接着把总线电平拉低8个时钟时间，主机就知道接收地址确认成功。如上述，时序的所有细节都会在数字存储示波器被我们清晰地捕捉和观察到。如再使用示波器的测量功能，我们就能精确地观察和修改程序的时序时间等。

2. 1-Wire总线的波形的观察和测量

1-Wire总线使用电平门限单次触发捕获，第一个电平高过某个设定值，就产生触发（注：此功能在《无线电》第6期“电源测试”相关文章中已有介绍，这里不再赘述）。和上述I²C 操作类似，同样按下 Mode 软键，选择 Normal，使用Single 单次触发捕获得到如图6所示单片机读取DS18B20 信号时序波形。

我们再把该波形展开，如图7所示。从图 7 我们就可以清淅地观察到时序波形细节，可作为修改时序的参考。

单片机控制 DS18B20 完成温度转换必须经过三个步骤：每一次读写之前都要对 DS18B20 进行复位，复位成功后发送一条 ROM 指令，然后再发送 RAM 指令，这样才能对 DS18B20 进行预定的操作。复位要求主 CPU 将数据线下拉到低电平至少 500μs 时间，(注：我们实际操作时约 700μs)，然后释放总线为高电平，DS18B20 收到信号后等待 16 ~ 60μs 时间，然后拉低总线低电平约 60 ~ 240μs 时间，主 CPU 收到此信号表示复位成功。从展开的波形上我们可以看到时序细节，对单片机程序设计的调整有很大指导意义。

三 使用两个总线时需注意的几个问题

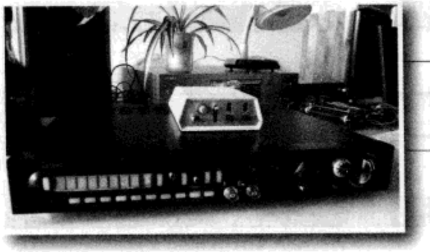
1. 较小的硬件开销需要相对复杂的软件进行补偿，由于器件与微处理器间采用串行数据传送，因此，在对两总线进行读写编程时，必须严格地保证读写时序，否则将无法操作。在使用PL/M、C等高级语言进行系统程序设计时，操作部分最好采用汇编语言来实现。

2. 在两个总线的有关资料中均未提及单总线上所挂器件数量问题，容易使人误认为可以挂任意多个器件，在实际应用中并非如此。当总线上所挂器件超过一定数量时，就需要解决微处理器的总线驱动问题。

3. 连接两个总线的总线电缆是有长度限制的。要充分考虑总线分布电容和阻抗匹配问题。

4. 在DS18B20测温程序设计中，向DS18B20发出温度转换命令后，程序总要等待DS18B20的返回信号，一旦某个DS18B20接触不好或断线，当程序读该DS18B20时，将没有返回信号，程序进入死循环。这一点在进行DS18B20硬件连接和软件设计时也要给予一定的重视。

5. 测温电缆线建议采用屏蔽4芯双绞线，其中一对接地线与信号线，另一对接VCC和地线，屏蔽层在源端单点接地。



◎林芝松

自己动手制作测试仪器

（原理篇）

一 多年心愿 一朝实践

笔者在测试电子滤波网络、放大器、电声器材等的频率响应特性时，受测试条件的限制，往往只能采用点频法描绘特性曲线，在调整电路元器件和参数后，还得从头重新描点，既繁琐费时又不直观，而且可能因取点数不够或安排不合理而漏掉某些细节。多年来就想组装一台多功能的函数扫频信号发生器，平时也注意收集这方面的资料、专用的集成电路及有关的元器件，今朝终于付诸实践，经过反复试制，不断改进，制作了一台函数扫频信号发生器，能产生0.1Hz～170kHz的正弦波、三角波、方波信号，可手动调节频率，也可由机内信号进行线性或对数扫频，扫频范围连续可变，扫频的上、下限频率可任意设定，具有频率标志，仪器附有数字频率计，用来精确测量输出信号频率，还可单独作为100MHz的频率计使用。配合示波器能对电子电路的频率响应曲线进行直观显示，而且可以一边调整被测电路的有关元件和参数，一边观察波形曲线，从而得到预期的指标。同时本仪器还有功率输出，功能多，造价低廉，是爱好者必备的一台利器。

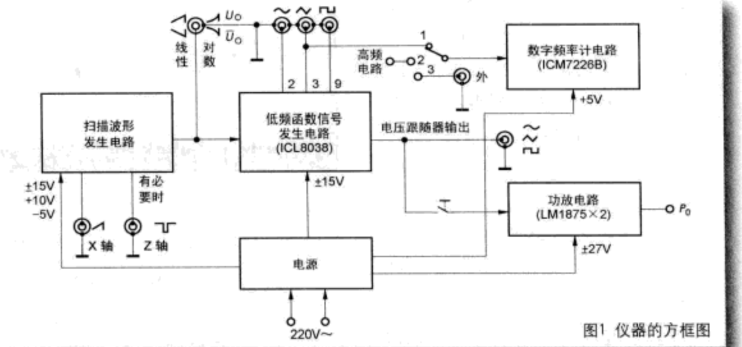


图1 仪器的方框图

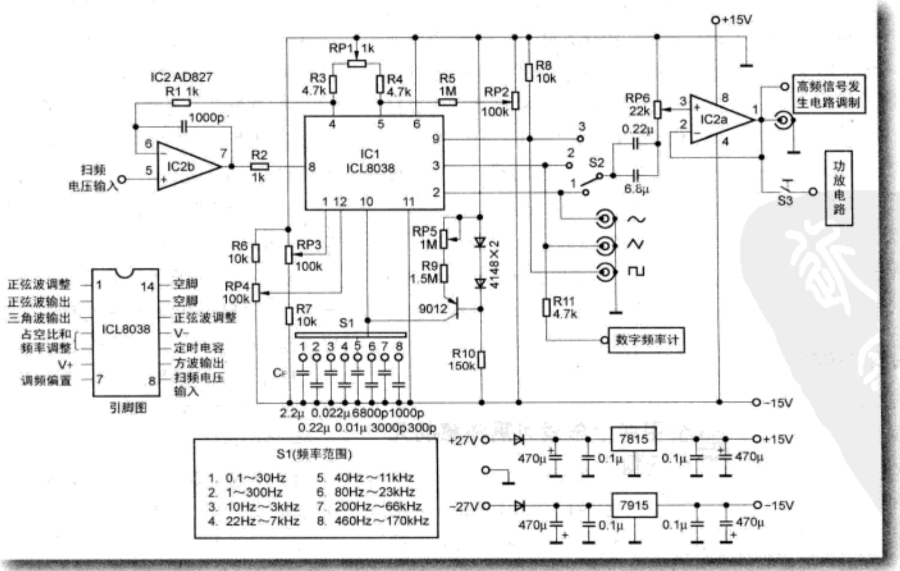


图2 低频函数信号发生电路

本仪器的方框图如图1所示。它由低频函数信号发生电路、扫描波形发生电路、数字频率计数电路、功放电路、电源电路等五个部

分组成。现将几个部分的电路原理、分别介绍如下，供读者参考。

二 电路原理

（一）低频函数信号发生电路

低频函数信号发生电路是本仪器的核心部分，笔者采用质优价廉的精密压控函数发生器专用集成电路ICL8038，配合外围少量的元器件构成，电路如图2所示。ICL8038对于电子爱好者来说并不陌生，报刊也有多次介绍，在此并不赘述，现就本电路有关的注意事项做个说明。

1. ICL8038的工作电源为10～30V或±5～±15V。笔者经过试验，认为采用6脚接地，11脚接-15V，有利于减小输出的波形失真和增强抗干扰能力，并且易于调试。此时8脚的调频电压的范围在0～-4V之间。由于当调频电压接近于0V，-4V两个端点时，信号的线性度和失真度明显变差。为了在0.1Hz～170kHz整个频带内，获得最佳的信号波形，10脚的外接振荡电容CF要分成多挡以供选择（本电路为8挡），电容量要经试验后确定（尤其是20Hz～20kHz频带内的几挡电容），电容器质量的好坏直接影响频率的稳定性，所以要选用热稳定性好，损耗小的优质电容，如CBB、KMP、KMT等型号的电容器。同理，R3、R4、R5、R6和R7等要选择精度高的金属膜电阻，方波占空比调节的微调电位器RP1、RP2和正弦波失真调整的微调电位器RP3、RP4要选择10圈精密微调电位器，并俩俩配合反复调节，可以达到最佳的效果。

2. 为了工作在甚低频段，用一晶体管网络接在10脚上，产生约1μA的补偿电流用以改善甚低频的波形对称性。

3. ICL8038的3脚的三角波经R11引出至数字频率计数电路，显示信号

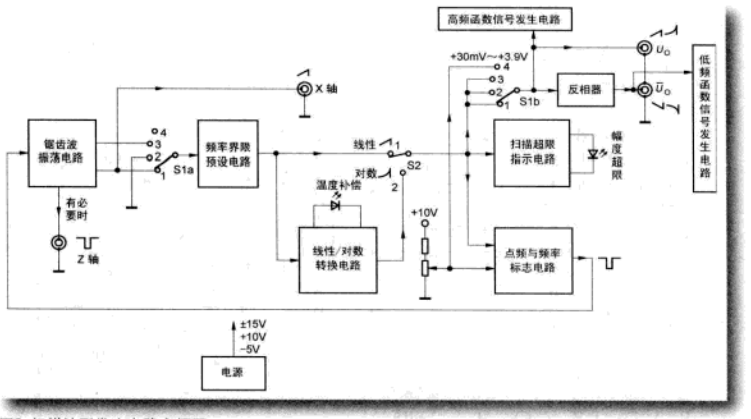


图3 扫描波形发生电路方框图

的频率值。

4. ICL8038的2、3、9脚输出的信号可单独输出，同时也可经开关S2选择、RP6调节、IC2（a）的跟随缓冲，输出幅度可调的信号，增强带负载能力。同时信号还经开关S3控制输出至功放电路供功率输出之用。

为了使ICL8038的潜力得到充分发挥，还需要一个优秀的扫描波形发生电路与之配合。

（二）扫描波形发生电路

一部扫频信号发生器总是离不开扫描波形发生电路。图3是扫描波形发生电路的方框图，电路见图4。

1. 锯齿波振荡电路：IC1（ICM7555）、IC2a、IC2c、IC2d、VT2、RP1b等构成线性锯齿波振荡电路。IC1被接成多谐振荡电路，IC2a、VT2、RP1b等组成一个压控恒流源向C2充电，从而保证了锯齿波的线性度，充电电流的大小由RP1b的阻值大小决定，也就是锯齿波的周期可由RP1b调节。IC1采用CMOS时基电路（ICM7555），这比采用双极型555电路可进一步提高锯齿波周期精度和稳定性。本电路的锯齿波周期可在25ms～2.0s之间进行调节，改变C2的容量，可调整周期范围，锯齿波的峰值电压为+5V。此锯齿波通过跟随器IC2c缓冲分两路输出，一路至示波器X轴输入，作为X轴的扫描电压，见图5。另一路经S1a开关的选择后，加至频率界限预设电路。IC1的3脚输出的脉冲可由示波器Z轴输入，作为消隐信号（有必要时），有时可能需要将此脉冲反相，或稍为调整其电平，以符合示波器的需求。IC1的5脚输出的+5V电压经IC2d缓冲输出，作为频率界限预设电路的扫频终止（上限）频率设置的基准电压。

2. 频率界限预设电路：为了对输出的扫频信号（从低频率向高频率扫描）的上、下限频率实现预设置，由IC3a、RP2、RP3、S1a等组成该电路，其起始（下限）与终止（上限）频率分别由RP2、RP3预先设定好。当S1a置2挡时，相当于RP3被短路，此时，利用RP2去改变锯齿波的零电平，设定最低的扫描电压，从而决定起始时最低（下限）频率。当S1a置3挡时，RP3接+5V基准电压（锯齿波峰值电压也为+5V），调节RP3是调节锯齿波的峰值，设定最大扫描电压，即终止时最高（上限）频率。当S1a置1挡时，锯齿波信号经RP3滑臂输出与RP2调定的下限电压在IC3a中混合一起。IC3a为同相比例运放器：$K_F \approx U_o/U_i \approx 1+$

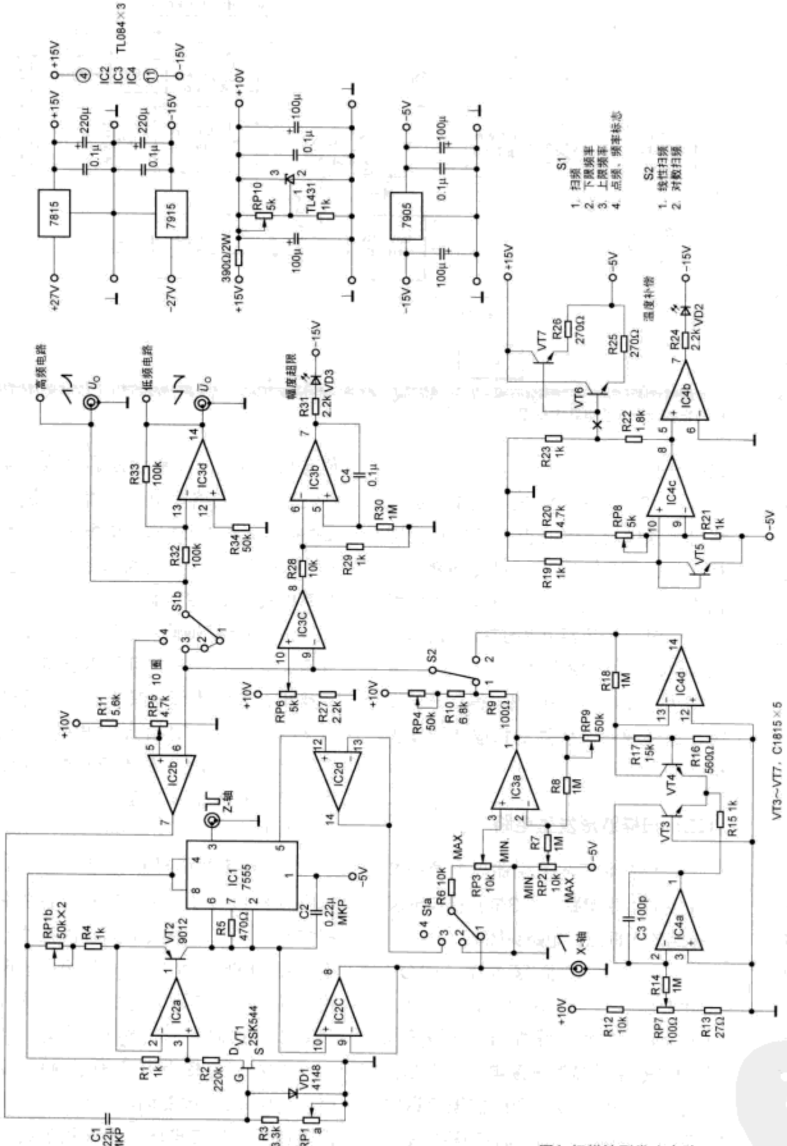


图4 扫描波形发生电路图

R8/R7。其最大上限扫频电压的设置：+5V经R6与RP3分压为2.5V，经同相运放后：2.5V×2=5V，设置比+4V略大一些，保证得到正确无误的线性扫描电压，此电压经开关S2的1挡输出。RP4的作用是要在线性扫频时设定最低的驱动电平，约为+30mV。只有当S1置1挡时电路才有扫描信号（锯齿波）输出。

3．线性/对数扫描转换电路：本仪器除了提供线性扫描锯齿波外，还具有对数扫描。由IC4a、IC4d、VT3、VT4和RP7等组成线性/对数扫描转换电路。晶体管的基极、发射极电压与集电极电流之间在十分宽广的范围内，如10^{-9}～10^{-3}A约五个数量级的范围内，具有相当精确的对数关系。由于U_T和I_S是温度的函数，对数运算精度受温度的影响较大，因此本电路采取了几项措施进行温度补偿：一是根据差放电路概念利用参数相同的对管抵消温度对I_S的影响；二是由IC4c、IC4b、VT5、VT6、VT7、RP8和VD2等组成的恒温（狭窄的温度范围）电路，进一步对温度进行补偿。VT3～VT7最好采用晶体管阵列IC，笔者一时没买到，而是采取了捆绑均温的方法解决，见图6。VT3～VT7要配对，尤是VT3、VT4的配对误差要控制在1%以下。晶体管VT5被接成二极管型式，担任温度探头，灵敏度为-2mV/℃。当VT5基极－发射极电压U_{BE}，（IC4c的10脚）大于R21上的电压降（IC4c的9脚），两者电压差经IC4c放大，分两路输出，一路经IC4b驱动VD2点亮，另一路驱动电流源VT6和VT7导通，使有较大的电流流入VT6、VT7，使它们发热，那么捆绑在一起的VT3、VT4、VT5也一同被加热，很快达到均温状态，同时VT5的U_{BE}按2mV/℃减小，随着温升，流过VT6和VT7电流便减小，以至完全截止（当U_{BE}稍

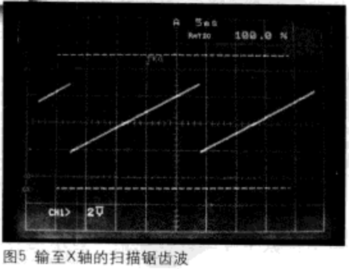


图5 输至X轴的扫描锯齿波

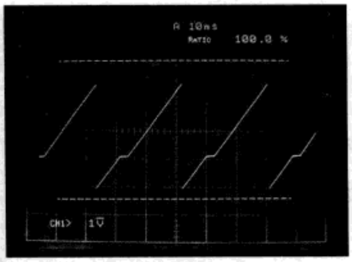


图7 保持一小段时间的锯齿波

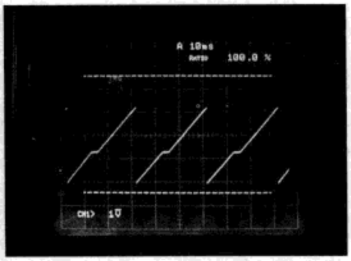


图8 带频标的线性扫描电压

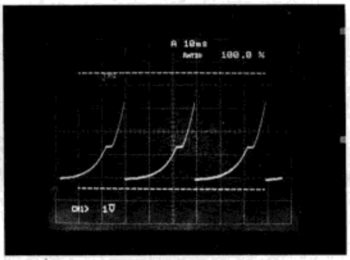


图9 带频标的对数扫描电压

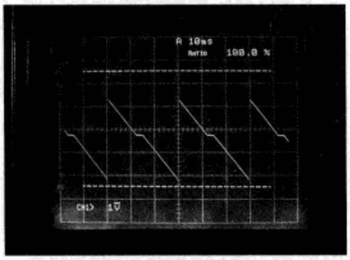


图10 图8的反相输出扫描电压

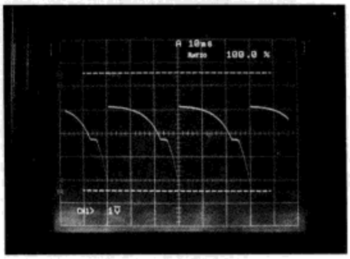


图11 图9的反相输出的扫描电压

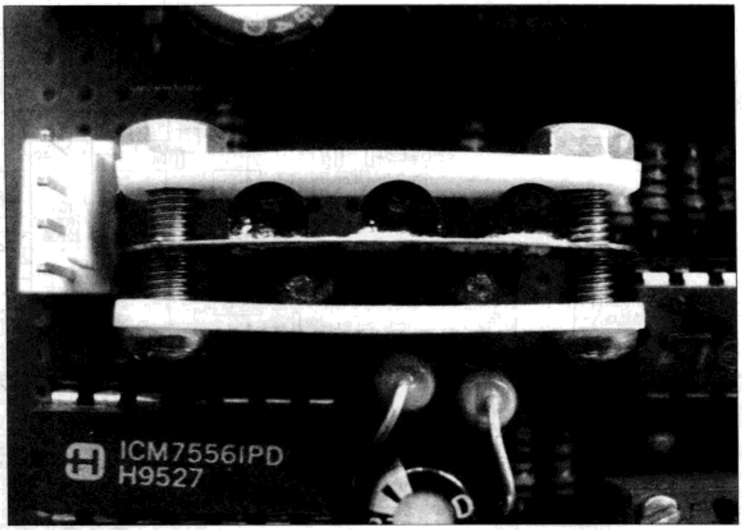


图6 捆绑均温的方法图示

小于由RP8预设的R21上的压降时），VD2熄灭。这样达到热平衡之目的，VT6和VT7上之损耗是用以使VT3和VT4的温度保持在狭窄的范围之内。C3用于相位补偿，保证闭环稳定性。IC4d的14脚输出的对数扫描电压经S2的2挡输出。

4．IC3c、IC3b、RP6和VD3等组成扫描电压幅度超限指示电路。IC3c的10脚（同相端）通过调节RP6预设一电压，比如+3.9V，线性或对数的扫描电压经S2选择输至IC3c的9脚（反相端）与预设电压进行比对，当9脚的电压超过10脚的预设电压（+3.9V）时，比较器IC3c反转，令脉冲延时器IC3b去驱动VD3导通发光。此电路是很有必要的，因为ICL8038的扫描电压接近两个端点时线性度和失真度变差，当扫描电压的绝对值大于+3.9V时，ICL8038停振。所以本电路利用RP4设定最低电压+30mV；RP6设定最大电压为+3.9V，超过时，VD3点亮提醒调低上限电压。如是，使输出的扫频信号频率在有效的范围内变化。

S1b滑臂输出的扫描电压范围为+30mV～+3.9V，需经IC3d反相运放电路转换为-30mV～-3.9V，以适应图2电路中的ICL8038的扫描电压要求。

5．点频与频率标志电路：IC2b、RP5、RP1a、VT1和C1等组成频率标志和点频调节电路。+10V电压经R11、RP5分压，RP5调节分两路输出：一路由S1b的4挡输出的直流电压经IC3d反相，然后送至ICL8038的8脚，作为手动调节输出信号频率的电压；另一路送至比较器IC2b的5脚，与6脚的扫描电压相比对，如果6脚电压稍大于5脚时，7脚输出便转换到约-15V，这个脉冲的前沿经C1、R3、RP1a整形，然后使VT1导通，引致锯齿波得以保持一小段时间，直至脉冲结束为止，如图7所示。这样，当S1置1挡时在示波器屏幕上产生一条对应于RP1b滑臂上DC电平之频率的标志亮线。当S1置4挡时通过频率计数电路读出标志频率值。为了保证脉冲的持续时间对应于C2的充电周期（即亮线处于低频端与高频端时粗细大概一致），应将RP1a按照充电周期作正比例的调节。图8、图9分别为带有标志频率的线性和对数扫描电压的波形；图10、图11分别是图8、图9的反相输出波形；图12、图13分别是

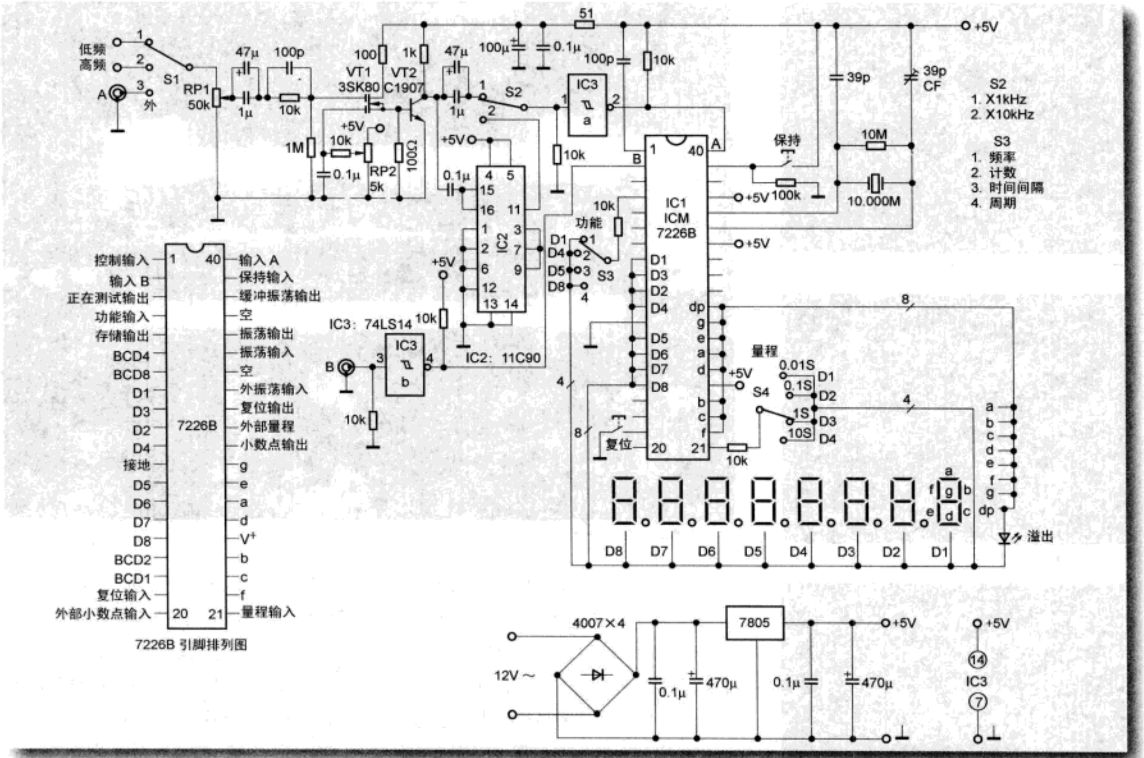


图14 频率计电路

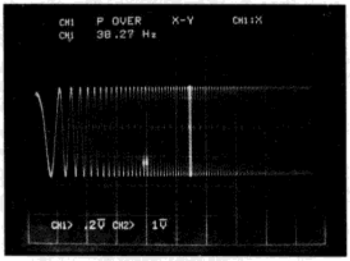


图12 带频标亮线的线性扫频信号

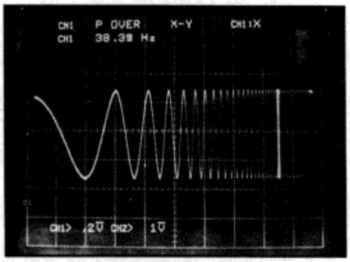


图13 带频标亮线的对数扫频信号

带有标志频率亮线的线性和对数的扫频信号波形。

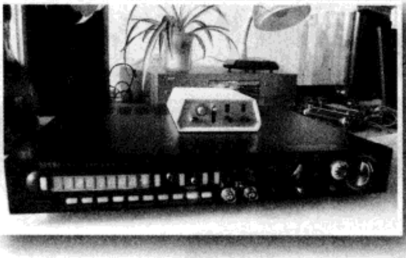
（三）数字频率计电路

ICM7226B是一块单片通用频率计集成电路，它只需外加几个元件便可构成一台能测试频率、周期、频率比、时间间隔、单位计数等的通用频率测试仪，测试频率达10MHz。输入信号经IC2（11C90）10分频后测试频率可达100MHz；四个内部闸门时间分别为0.01s、0.1s、1s和10s可供选择。能直接驱动8位共阴LED数码管（尾缀为A的是共阳的），具有溢出指示。电路原理见图14。

图中，VT1、VT2及IC3b等组成放大整形电路，作为A输入端的输入电路，VT1采用双栅场效应管3SK80，不但能提高输入阻抗，而且通过调节RP2，改变第2栅极的电压，可改变输入电压范围。VT2输出的信号分成两路，一路直接送至S2的1挡（×1），另一路经IC2(11C90)10分频后再送至S2的2挡（×10），经S2选择后再经IC3a（74LS14/6）整形后送至IC1的40脚（A端）输入。IC1的2脚是B输入端，其输入的信号也经IC3b整形后再输入，B端口测试的最高频率为2.5MHz。当S1置3挡（外）时可测外部信号频率。

频率计数电路的调校主要是调整10MHz时基振荡器的频率，要选择精度高的10MHz的晶体。调校时，可用一台标准的频率计与本电路同测一信号源，开机20分钟后，微调CF，使本电路的频率显示与标准频率计显示的数值一致即可。

下一期将介绍本测试仪的制作方法、调试要点和扩展，敬请关注。



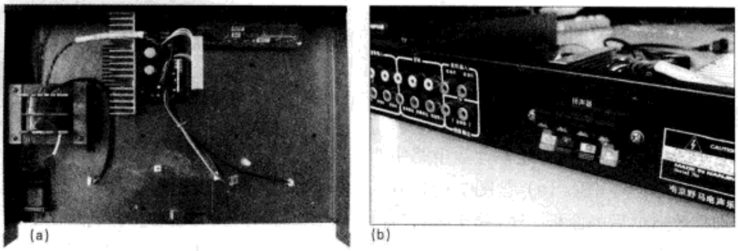
◎林芝松

自己动手制作测试仪器

（制作改进篇）

一 制作过程

电子爱好者在 DIY 音响或制作测试仪器时，碰到外壳和面板的设计与制作皆感到很棘手，笔者也是如此。有时自己虽能动手加工，但与市售机相比，首先就输在外观上了，所以大多数都寻找现成的外壳，内部电路板的设计及元器件的排列去适应外壳，本仪器也是这样。笔者找到一台退役的数码变调卡拉OKAV 放大器，该放大器的功放部分是典型的 LM1875×2 电路，这里不再赘述。电源部分是 2×20V 交流电压经整流滤波成 ±27V，另有一组 12V 交流电源。笔者保留了功放板、电源部分及后背板的输入输出接插件，见图 1（a)、图 1（b）所示。并根据面板（面板也经局部改制）来设计内部电路板，安排元器件。笔者采用“洞洞板”来安装，低频函数信号发生电路与扫描波形发生电路同安装在一块 138mm×95mm 的板子上；数字频率计数电路安装在另一块 138mm×70mm 的板子上，8 位 LED 数码管也用“洞洞板”安装，分别如图 2、图 3、图 4（a)、图 4（b）所示。用“洞洞板”组装电路板时，首先根据前后面板安排相关元器件和进出接插件，然后安排其他元器件，并着重考虑干扰问题和就近原则，要反复调整和不断衡量合理性，然后进行焊接和连线，理顺正负电源走线和地线，最后检查有无碰线（短路），大件元器件固定牢靠否？要处理好绝缘。



(a) (b)

图1 原功放机保留部分

本仪器各部分电路的电源都进行单独处理，稳压集成电路都加上一定面积的散热片，增强抗干扰性能和稳定性。扫描波形发生电路中的RP2、RP3是带开关的电位器，所附开关其中一个为S2，另一个为低频函数信号发生电路中的S3。

制作的过程不乏辛苦和充满乐趣，其中较难的是面板的利用和局部的改造：为了保留和利用原面板的按钮，需要用8挡互锁按键开关替换8个轻触开关，同时要用发光管指示各挡

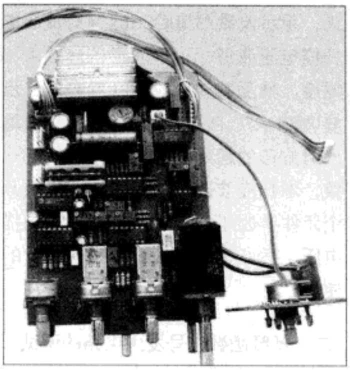


图2 “低频”、“扫描”电路板

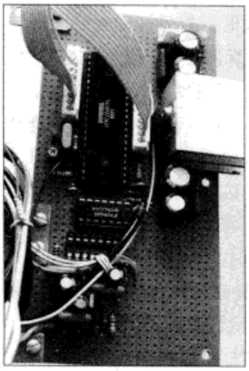
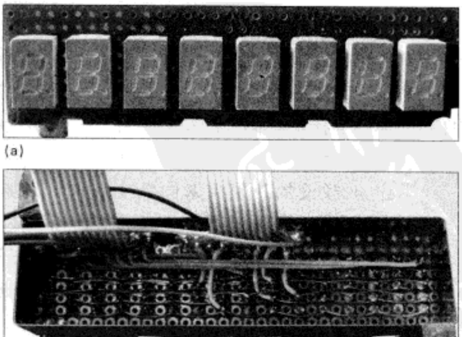


图3 频率计电路板（其中IC2未插上）



(a) (b)

图4 八位数码管电路板

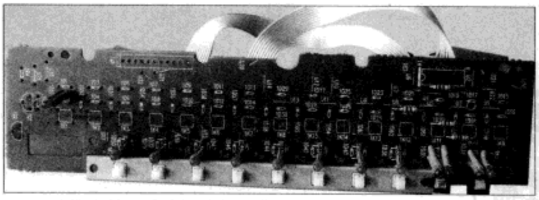


图5 八位互锁按键开关和指示灯的安装

图6 改造前后的面板

图7 组装完工的仪器面板

的工作情况，组装时要对准位置、调整高低，如图5所示。用“洞洞板”安装8位LED数码管电路板同样也是考验笔者的耐性和焊接技术。还有几个开关的安装也颇具一番周折，如低频函数信号发生电路中的S2、扫描波形发生电路中的S1、数字频率计数电路中的S3和S4等。图6（a）、图6（b）分别是改造前后的面板，图7是组装完工的仪器面板。

二 精心调试 不断改进

调试的过程也是不断改进和提高的过程。如对扫描波形发生电路的调试时，曾多次多处改进电路型式和元件参数，不断完善提高。

（一）扫描波形发生电路的调试

1．+10V基准电源：频率标志和点频的调频电压是+10V电压经分压后由RP5的滑臂输出，为了得到精确稳定的频率信号，+10V电压是由已稳压的+15V经基准电压集成电路TL431再稳压获得。调节RP10（10圈精密微调电位器）可得到准确稳定的+10V电压。RP5也要选择4.7kΩ的10圈精密电位器。

2．频率界限预设电路：电路中RP2与RP3的接法不同，RP2逆时针旋动时，滑臂是向上的（向地端靠拢），也即预设的下限频率向低变化，而RP3在顺时针旋动时，滑臂才是向上的（向分压的电压值+2.5V靠拢），预设的上限频率向高变化。如此，两电位器的调节即符合了人们的使用习惯，接线时要注意。RP4的调节目的在于线性扫描时给VCO最低的驱动电平，大约30mV左右。调试时，S1置4挡，数字万用表接S2滑臂，调节RP4使表指示为+30mV即可。设定上下限频率界限时只能根据其中一种扫描形式，即线性或是对数先选定后再预设上下限频率。

3．扫描电压幅度超限显示电路主要是调定RP6滑臂的电压值。将S1置3挡，S2置1挡，RP2、RP3逆时针旋至底，低频函数信号发生电路选择某一挡频率范围，如第6挡：80Hz～23kHz，RP6顺时针旋到底（向上端移动至+10V），顺时针缓缓旋动RP3，同时用示波器观测ICL8038的2脚输出的正弦波形，当达到不失真的最大频率值时，如23kHz，停止旋动（如果此时再顺时针旋动RP3时会发现，正弦波形失真加大，以至于ICL8038停振）。接着逆时针缓缓调节RP6至VD3刚刚被点亮，此时若将RP3逆时针旋动一点点（即稍调低上限频率一点点，如22.9kHz）VD3即熄灭，这时RP6已调整完成，滑臂的电压值约为3.9V左右。仪器在使用时，若扫描电压超过3.9V，VD3即被点亮或闪亮（在低的扫描频率时），以提示须调低上限频率。

4．线性/对数扫描转换电路：首先调节温度补偿电路。先断开VT6的基极与R22和R23连接点的连线，调节RP8，使IC4c的9脚电压比10脚高出10mV，接通上述断开点，VD2被点亮，稍等片刻VD2熄灭，再过片刻VD2又重新点亮，如是循环，使VT3和VT4的温度保持在一个狭窄的范围内。注意：断开和接通上述连线时要在关闭电源的情况下进行操作。

接着调整RP7、RP9。此两微调电位器的调节目的是使当扫描波为对数输出时，上下限频率范围与线性时基本保持一致。S1置1挡，S2置1挡（线性），RP1顺时针旋至底，使扫描锯齿波频率为最大，RP2逆时针旋至底；RP3顺时针旋至底，VD3被点亮，然后逆时针缓缓旋动RP3至VD3刚刚熄灭，用示波器测量IC3d的14脚输出的扫描电压波形，记下波形的起始点和幅度。然后将S2置2挡（对数），反复调整RP7、RP9，使扫描波为对数输出时波形的起始点和幅度与线性时一致。本扫描波形发生电路只要更改几个元件参数即可输出0～±10V的扫描电压，适应多种函数波形发生芯片的使用。

（二）低频函数信号发生电路的调试

1．调方波波形对称性（即占

空比为50%）：选择频率范围为80Hz～23kHz，用手动调节频率（即扫描波形发生电路中的S1置4挡）高频端时，如20kHz，调RP1使波形对称。调节低频端时，如100Hz，调RP2使波形对称。反复调节几次，使方波波形在整个频段内达最佳的效果。此时三角波、正弦波的波形对称性也最佳。

2. 调整正弦波的失真度：反复调整RP3和RP4使正弦波的失真为最小，调整到最佳时可降到0.5%。

3. 频段的设置：本电路频率从0.1Hz～170kHz分为8个频段，为了更好适应功放电路和音箱的调试，对其中的三个频段的设置为：22Hz～7kHz(C_F=0.01μF)、40Hz～11kHz(C_F=6800pF)、80Hz～23kHz(C_F=3000pF)，此三个电容容量经试验确定。

三 永不满足的追求——高频函数信号发生电路

本仪器的介绍到此本应接近尾声了，但总觉得它的高端频率只达170kHz，对于更高频率的测试无能为力。笔者有一块精密高频函数波形发生器集成电路MAX038，于是又动手加装了一台高频函数信号发生器机顶盒，如图8所示。

MAX038可生成频率范围为0.1Hz～20MHz，由双位数字代码选择输出正弦波、三角波和方波信号，最高频率可达40MHz，输出阻抗为0.1Ω。电路如图9所示。MAX038在使用时，主要是解决信号频率问题。输出频率取决于注入IIN端的电流 I_I、COSC端的接地电容C_F，此外FADJ端的电压可以在小范围对频率进行细调，当V_F=0时，输出频率为标称频率f_O，f_O确定后F_X在此基础上还可以由FADJ端的电压V_F细调，V_F的变化范围是±2.4V，对应频率全偏移是±70%×f_O。MAX038的REF端（1脚）提供+2.5V基准电压可以直接用电位器接到IIN、FADJ、DADJ端，进行频率和波形对称的调节。若在FADJ端输入一锯齿波，

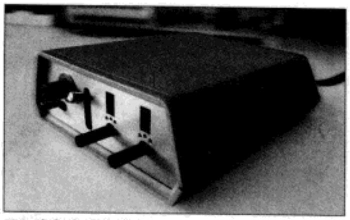


图8 高频电路机顶盒

附表 输出波形的设置

A0	A1	波形
×	1	正弦波
1	0	三角波
0	0	方波

则在OUT端输出一个f_O±D_X%×f_O的扫频信号。并且还可以用低频正弦波、三角波或方波等进行调制输出。IC2等组成精确调节IC1的方波占空比为50%的辅助电路，与ICL8038电路一样，只在方波波形对称时，正弦波和三角波的波形对称度才最佳。S1置2挡时，通过调节RP4，方波的占空比在15%～85%之间连续可调，三角波也在锯齿波与三角波之间变化。IC1的OUT端输出阻抗为50Ω，要用50Ω电缆连接，SYNC端输出可用来同步外电路。IC1的3脚（A0）、4脚（A1）是波形设定数字代码输入端，本电路用一只2位3挡的开关S2来选择输出波形，设置方法见附表。

在动手加装时，本想也安装到上述的机箱中，箱中位置还较大，可容纳得下，但面板却无位置安装相关的电位器和开关等，而只能采用机顶盒了。笔者寻得一个很好的仪器小盒子，于是根据盒子来设计安装线路板，图10是采用

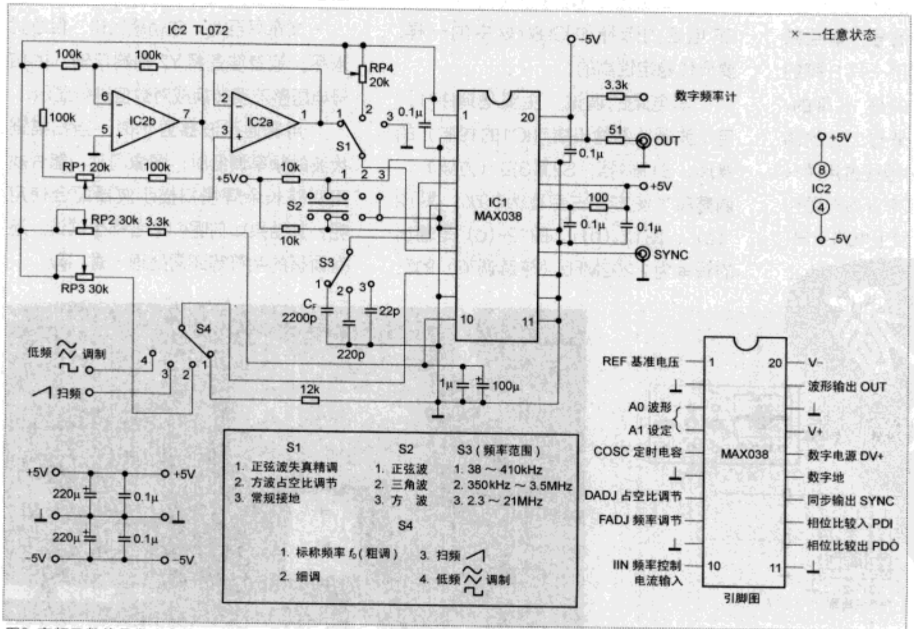


图9 高频函数信号发生电路图

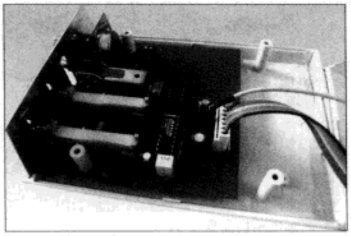


图10 高频函数信号发生电路板

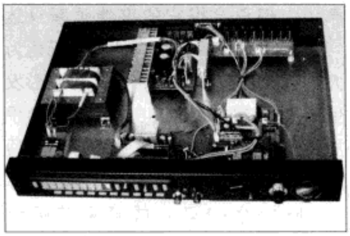
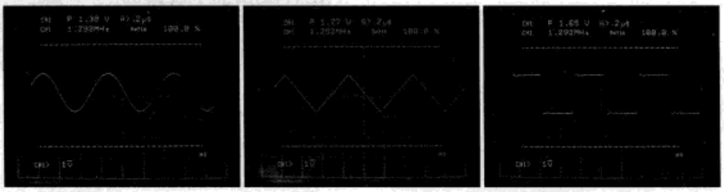


图11 仪器内部电路板和后背板插座的安装



（a）正弦波　（b）三角波　（c）方波

图12 高频电路输出的函数信号

97mm×95mm的洞洞板安装的线路板。RP2、RP3是采用旧式彩电高频头的频道调谐电位器，笔者仔细地计算了它可转动42圈，同时所附带1×3挡的开关刚好作为S1、S3使用，是个很不错的利用。电路所需的±5V电源、地线、锯齿波扫描电压、低频函数波形调制电压和输出的SYNC同步信号、输至频率计测频率的信号，采用一只8脚的CD1接插件（笔者采用的是15脚的，其余7个脚空置不用）来与上述的函数信号发生器连接，其中地线占用两只插脚。+5V电源由数字频率计数电路引出，-5V电源由扫描波形发生电路引出，在上述的函数信号发生器的后背板上加装了插座，见图11。MAX038的19脚输出的信号用一段50Ω电缆接至仪器小盒后背板的AV插座上，电缆线越短越好。外部接出的测试电缆线也用阻抗为50Ω的，并在终端并接50Ω电阻匹配。S3上所接的CF电容，爱好者可根据需要增加挡数和调整电容值。CF电容的选择如ICL8038中的一样，要质优稳定性高的。

本电路的调试，主要是调RP1，用示波器监测输出端（IC1的19脚）的波形，S1置1挡，S2置3挡（方波），调整RP1使方波占空比为50%。图12（a）、图12（b）、图12（c）是输出的频率为1.292MHz（随意调节）的正弦波、三角波和方波的波形图。

笔者在无意中翻出了20世纪70年代组装电子管收音机时留下的312—2中频变压器一只，心想当年为了调好中频变压器，绞尽了脑汁，现在何不用刚组装的高频函数信号发生电路试试呢？于是按图13连接电路，高频函数信号发生电路的S1置1挡，S2置1挡，S3置2挡，S4置1挡。频率计的S1置2挡（高频）。调节高频函数信号发生电路的RP2，使频率指示为465kHz左右。再将S4置3挡，扫描波形发生电路中的S1先置4挡，调节RP5使频率准确显示465kHz。然后将S1置1挡并配合调节上下限频率电位器RP2、RP3，使亮线处于示波器屏幕中央，反复调节中频变压器的两个磁芯，结果如图14所示的幅频特性，可看出是双峰的，移动频标亮线可测出通频带约为10kHz左右。笔者在调试过程中发现稍稍调磁芯，所引起的幅频特性的细微变化都可显示出来，可见其灵敏度很高。

四 后记

文章写至此，才稍感轻松，但意犹未尽。笔者准备将Y2轴端口输入的信号电压整流及转换成对数值进行显示。

用普通示波器显示时，当扫描锯齿波的频率调低时，图像闪动，能否换用双踪长余辉慢扫描示波器配合使用呢？其结果如何呢？笔者都想试试。还有面板的字符等还需处理一番。

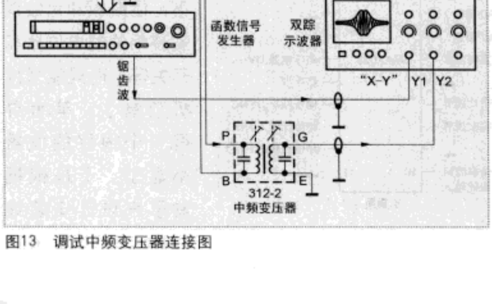


图13 调试中频变压器连接图

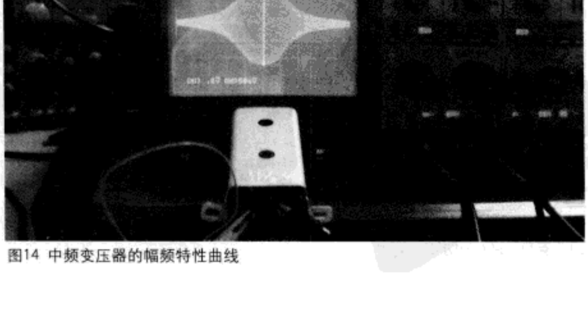
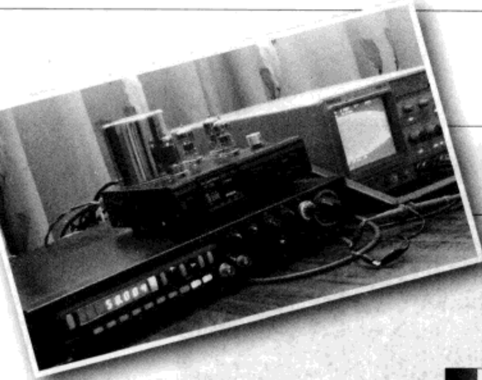


图14 中频变压器的幅频特性曲线



◎林芝松

自己动手制作测试仪器

（应用篇）

本刊今年第9、10期刊登的自制函数信号发生器具有频率范围为0.1Hz～20MHz的函数波形信号输出，如图1所示。具有线性/对数的扫频电压和扫频功率信号输出，扫频的上下限频率可调且有频标亮线显示，附带的数字频率计能精确测量输出信号的频率、上下限频率和频标亮线处的频率，同时还具有用低频函数信号调制的高频信号输出等许多功能，现举几个应用例子供读者参考。

一 手动调节频率的应用

用方波信号测试放大电路。方波是由基波和奇次谐波组成，用方波可检测放大电路的工作情况是否正常并粗测电路幅频特性。测试的连接如图2所示。函数信号发生器置方波挡，输出的电压信号由缓冲输出端引出。分别用100Hz、1kHz、10kHz信号进行测试。示波器置“双踪”状态，对放大前后的信号波形进行对比，见图3（a）、图3（b）、图3（c）所示。由图3（a）的放大电路输出的方波（屏幕上方的波形）顶部倾斜程度，说明放大电路低频有一些衰减，图3（c）的方波圆角说明放大电路高频略有衰减。由此判定本放大电路工作正常，无自激，幅频特性良好。使用输出的正弦波和三角波信号测试放大电路，由放大后的信号波形可估出放大电路

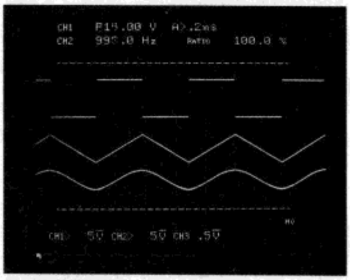
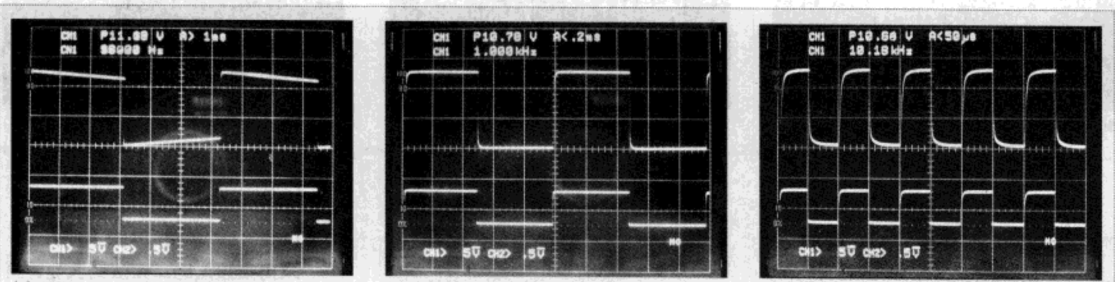


图1 函数波形信号（1kHz）



（a）100Hz （b）1kHz （c）10kHz

图3 用方波信号测试放大电路

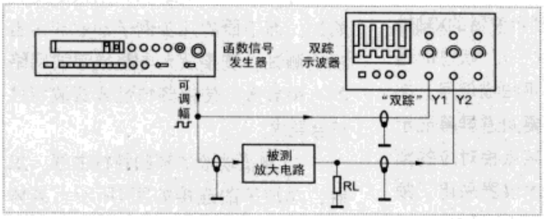


图2 测试放大电路的连接图

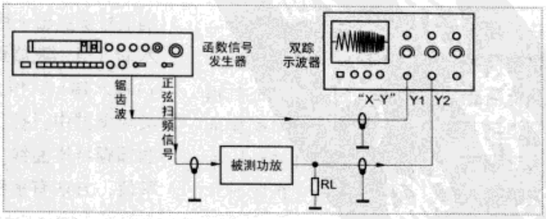


图4 扫频电压信号测试功放的连接图

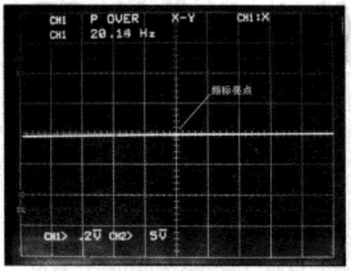


图5 带频标亮点的X轴扫描线

图7（a）测试电子管前级的幅频特性曲线

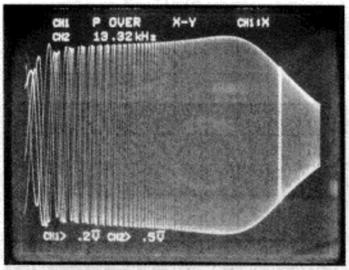


图6（a）功放1的幅频特性曲线（中高频段）

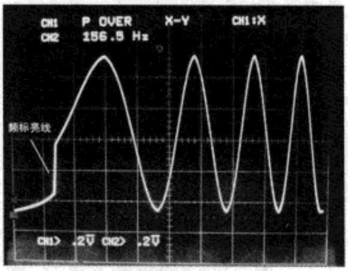


图7（b）低频端的幅频特性曲线

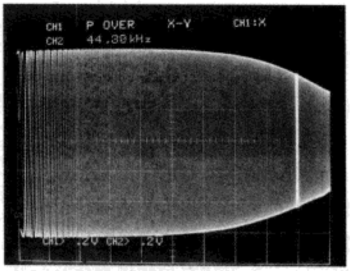


图7（d）高频端的幅频特性曲线

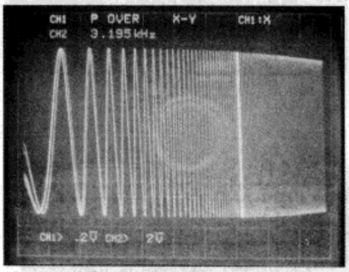


图6（b）功放2的幅频特性曲线（中高频段）

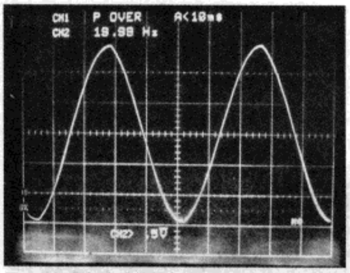


图7（c）频标亮线的频率——20Hz

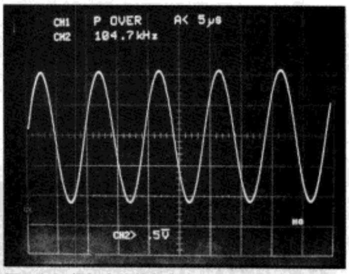


图7（e）频标亮线的频率——104kHz

的非线性失真。

二 扫频信号的应用

扫频测试法是一种半自动测试方法，所谓“扫频”就是信号频率在一定范围内按一定规律（线性或对数）从低至高作周期性“扫动”，而其振幅恒定不变，从而替代了信号频率的人工调节。扫频信号加到被测放大电路的输入端，由于被测放大电路对不同频率的信号的增益不尽相等，故输出电压的幅度不再保持恒定，其显示在示波器屏幕上的一周期的电压峰值包络形状与被测电路的幅频特性曲线形状相同。为了使示波器的水平偏转与扫频信号的调谐自动保持同步，扫描信号要引出一路加到示波器的X轴输入端（当示波器置“X—Y”状态时是Y1输入端），作为水平扫描信号。在实际测试中，往往需要知道屏幕显示的幅频特性曲线上某某点相对应的频率值，方法有多种，本仪器采用了频率标志亮线（原理参考《无线电》第9期的相应介绍），用数字频率计可以精确读出亮线处所对应的频率值。

采用扫频法比点频法更快捷、直观、准确、方便。如“一”中采用方波信号测试放大电路的频响只能是粗略的。而下面的几个例子却能非常直观地测试、调整放大电路或滤波网络的有关参数，使幅频特性或滤波特性符合要求。

1. 测试功放的幅频特性曲线：仪器、功放等的连接如图4所示。具体操作如下：先关闭功放电源，示波器置X—Y状态，调节Y1（此时是当X轴

输入）有关旋钮使屏幕显示一条带亮点（频率标志）的扫描线，见图5。此时函数信号发生器应设置为正弦波扫频电压信号输出，调节频标旋钮，可见亮点在水平扫描线上移动。频率范围置4挡（22Hz～7kHz,测试低频响应）或6挡（80Hz～23kHz,测试高频响应）。接着接通功放电源，调节音量为适中，调整示波器Y2的有关旋钮和函数信号发生器输出的信号电平以及上下限频率预设旋钮，使屏幕显示如图6（a）、图6（b）所示的幅频特性曲线。图6是用对数扫频信号分别测试两台功放的中高频段的频率响应。功放1是由6N3、6P14等组成的单端甲类电子管小功率机，输出变压器是采用电子管收音机的3W输出变压器，功放2是前级采用6N11，后级采用TDA7293的前胆后石的功率放大器。由图6（a）、图6（b）的幅频特性曲线可看出功放2的性能优于功放1。功放1的性能瓶颈是输出变压器，如果调换品质优良的输出变压器，认真调试各点的工作电压（可以边调电压边测试幅频曲线），其性能一定会有长足的提高。

2. 测试电子管前级（自己DIY的）的幅频特性曲线：基本操作同测试功放的幅频特性曲线，低端频率范围置2挡（1Hz～300Hz），高端频率范围置8挡（460Hz～170kHz），由图7可看出该前级性能较优秀，频带宽度为20Hz～104kHz，只不过在20Hz附近波形略有失真，见图7（c）所示，而高频性能很好。

3. 调试滤波网络：图8是调试吸收频率为2kHz的无源双T滤波网络的接线图。基本操作同测试功放的幅频特性曲线，频率范围置4挡

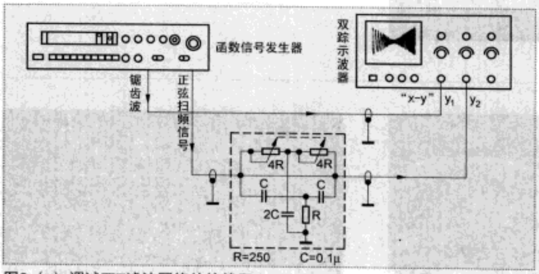


图8（a）调试双T滤波网络的接线图

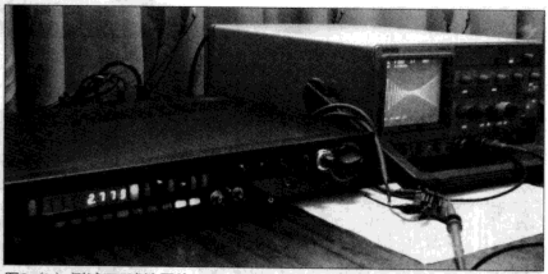


图8（b）测试双T滤波网络

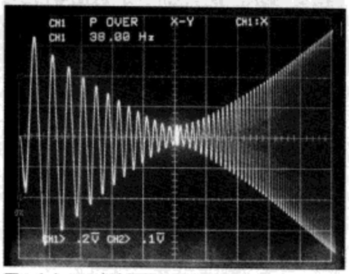


图8（c）双T滤波网络的幅频特性曲线

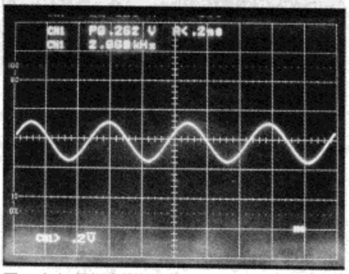


图 8（d）频标亮线的频率——2kHz（吸收频率）

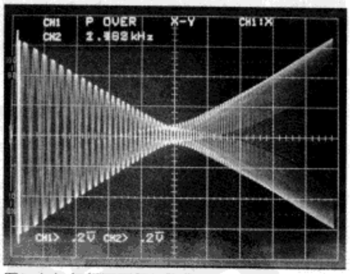


图8（e）扫频下限频标亮线

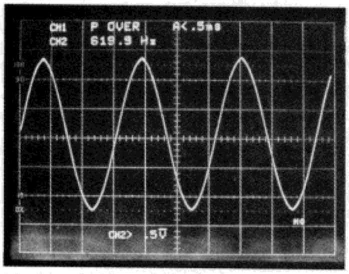


图8（f）下限频标亮线的频率——619Hz

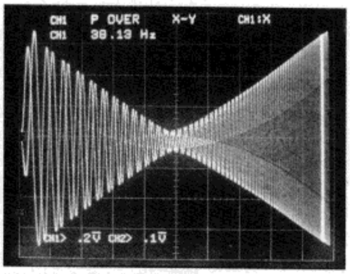


图8（g）扫频上限频标亮线

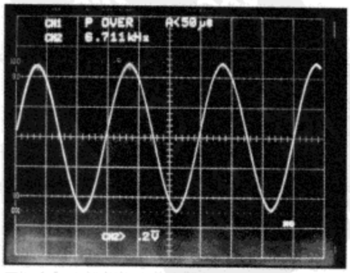


图8（h）上限频标亮线的频率——6.7kHz

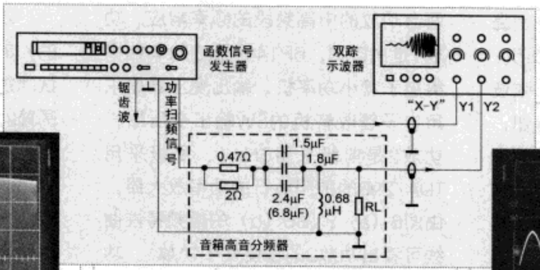


图9（a）扫频功率信号调试音箱高音分频器的连接图

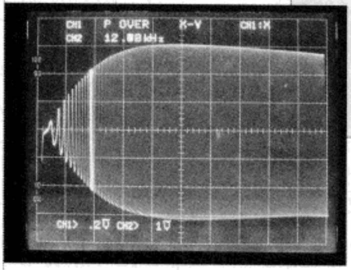


图9（b）线性扫频

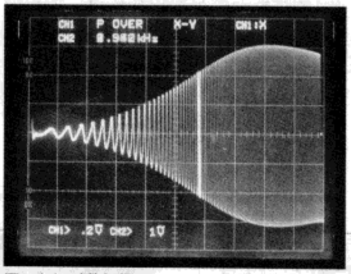


图9（c）对数扫频

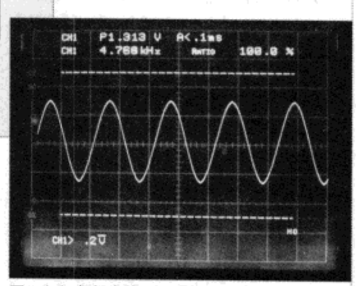


图9（d）频标亮线——分频点频率为4.760kHz

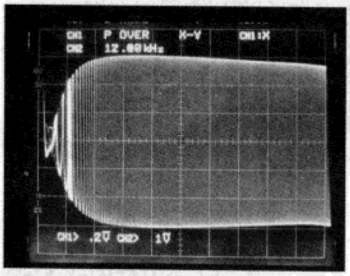


图10（a）线性扫频

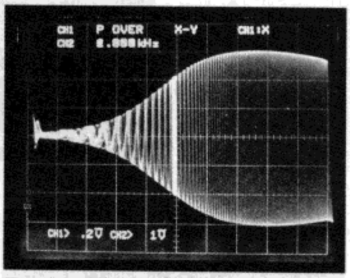


图10（b）对数扫频

图10a、b 调整C值后线性和对数扫频曲线图

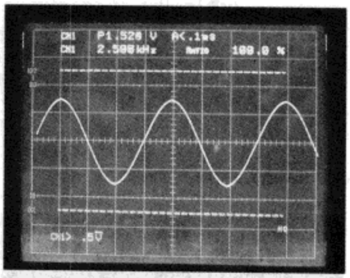


图10（c）调整C值后频标亮线——分频点频率为2.5kHz

（22Hz～7kHz），采用对数扫描。调节频标旋钮使频率指示为2kHz，并配合调节示波器Y1相关旋钮、上下限频率预设旋钮，使频标亮线处于屏幕中心，仔细调整双T滤波网络的1kΩ双联电位器，使吸收点落在2kHz处，参见图8（a）、图8（b）、图8（c）、图8（d）、图8（e）、图8（f）所示。图8所示的幅频特性曲线的下限频率为619Hz，上限频率为6.7kHz。

4．图9（a）是应用扫频功率输出的信号调试音箱高音分频器的幅频特性曲线的连接图。函数信号发生器和示波器的操作如上所述。图9（b）、图9（c）是分别用线性和对数扫描的曲线图。图10（a）、图10（b）是保持测试信号不变，调整了C值（调换为括号内的数值）后的曲线图，从图中可看出对分频点的影响，图9（d）的标志频率为4.768kHz，而图10（c）的标志频率为2.5kHz，可见分频点向低频端移动。

函数信号发生器在使用时是采用线性扫频还是对数扫频，要视具体情况而定。比如图9、图10所示，采用对数扫频来测试比采用线性扫频更直观更能说明问题。

编后：电子爱好者在电子制作时离不开信号源，无论是自己打造音频设备，还是调试高频设备，低频信号发生器和高频信号发生器都是少不了的，为此本刊后续还将刊登用AD9833、AD9850、AD9851等DDS芯片制作的信号发生器，敬请关注。

通用型手机充电器完全剖析

◎李威　葛中海

目前市场上销售的手机充电器，从电路结构和充电方式上大体可分为两大类：第一类是“机充式”充电器，另一类是“直充式”充电器（也叫座充）。所谓“机充式”充电器，就是电源进入手机后由充电管理IC控制预充电、恒流充电、恒压充电、电池状态检测、温度监控、充电结束低泄漏、充电状态指示等（比如SL1051、BQ241010/2/3等），输出电压一般在5.5~6.5V；“直充式”充电器也叫万能充电器，直接对电池充电，由于锂电池（充）满电压为4.2V，所以这类充电器输出电压一定要稍小或等于4.2V。

手机充电器输出功率都比较小，一般在5W以下，国内厂商生产的充电器更是小到2~3W。为了节约成本，国内许多厂商都采用RCC（Ringing Chock Converter）开关电源设计方案。RCC设计方案理论技术成熟、电路结构简单、元器件常见、成本低廉，所以深受国内厂商青睐。

本文通过对几种不同RCC充电器电路关键节点波形的测试分析，简述它们的工作原理，依据电路结构特点，提示读者正确辨识它们性能的优缺点，最后顺便讲述一些开关电源的通用电路知识，在此过程中体验数字存储示波器在电子测量和原理分析中的应用。希望读者通过阅读，对RCC充电器有一定认识，若读者能在本文的指导下排除充电器的简单故障，乃读者之幸，笔者之幸甚也！

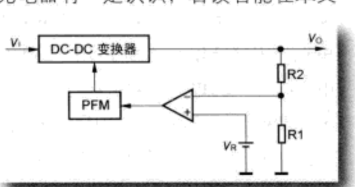


图1 RCC充电器原理框图

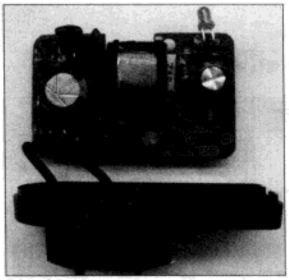


图2

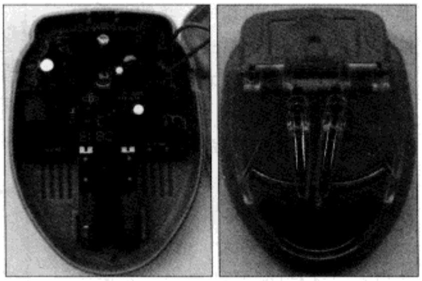


图3

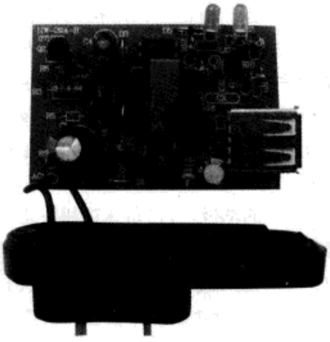


图4 中山市小霸王电子公司MP3/4/5配用的充电器

一 RCC充电器电路原理

RCC充电器电路结构简单，工作频率由输入电压与输出电流（自适应）改变，控制方式为频率调制（PFM），工作频率较高，图1所示是RCC充电器原理框图。

图中V_i是整流滤波后的直流电压。DC-DC变换器包括变压器和开关元件，开关元件在分立式开关电源中表现为双极型或MOS型高压管，在集成式开关电源中是集成电路内含MOS型高压管。输出电压V_O经电阻R1、R2分压采样与基准电压V_R比较，差值进入PFM（Pulse Frequence Modulation，脉冲频率调制）控制器，输出信号控制开关元件的导通/截止，从而调节输出电压。本文介绍的几种RCC开关电源，将图1中的部分环节省掉了，整机的可靠性大为降低。

二 RCC变换器测试分析

图2是深圳市某电子有限公司生产的“快速手机充电器”（厂家命名）。

产品规格：输入 AC180~240V 50/60Hz 0.1A

输出 DC6.5V 500mA MAX

图3是东莞市某电子科技有限公司生产的万能手机充电器。

产品规格：输入 AC220V 100mA

输出 DC4.2V 180±80 mA 适用于250~3000mAh（毫安时）电池

图4是中山市某电子有限公司给中山市小霸王电子公司配用的MP3/4/5充电器。

产品规格：输入 AC110~250V 50/60Hz 0.1A

输出 DC5V 300mA

图2所示“快速手机充电器”的完整电路见图5。

为方便说明问题，图中专门标注

了P1～P6共 6 个测试点，其中P4最为关键。借助数字存储示波器，提取关键点的波形，帮助大家分析电路的工作方式，因此P4测试点波形会在多个图中出现，以期对比之用。

市电经保险电阻R1输入（也叫熔断电阻，兼具电阻和保险丝的双重功能），经VD1～VD4桥式整流、C1滤波后到开关变压器。厂家在设计时保留C1的位置，但是实际生产时并没有安装，为了测试需要笔者加装之，见图2中个头大点的电容，轻载时P1点电压约300V，测量值为ΔV322V，见图6。

电阻R2阻值较大，给VT1提供启动电流（R2也叫启动电阻，系统一旦正常工作，R2不再起控制作用，断开它系统仍能正常工作）。刚上电时先由R2使VT1导通，变压器主绕组（①-②）产生自感电动势，极性“①正②负”，辅助绕组（③-④）极性“③正④负”、经C3和R7支路加到VT1的基极，VT1迅速饱和导通，集电极电流线性增加——正反馈效应（通俗地说就是一旦导通就让它狠狠地通）。此时次级绕组极性“⑤负⑥正”，整流二极管VD8反偏截止，变压器主绕组蓄积能量。

开关管VT1的集电极电流i_C增加到接近峰值i_{CP}时，变压器主绕组极性反转“②正①负”，辅助绕组“④负③正”，VT1基极有反向偏置电流，VT1截止——正反馈效应（通俗地说就是一旦退出导通就快速地截止）。此时次级绕组“⑤正⑥负”，VD8正偏导通，变压器主绕组蓄积的能量瞬间耦合到次级，由次级再释放给负载。

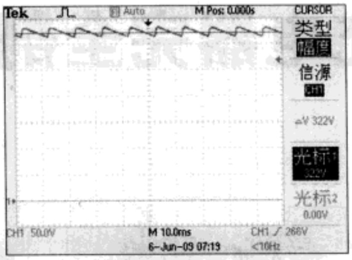


图6 P1点电压波形

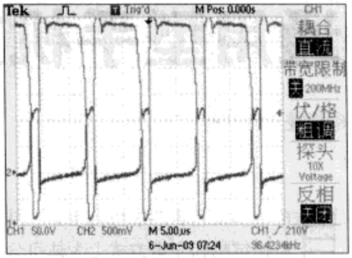


图7 1是P2点电压波形，2是P4点电压波形

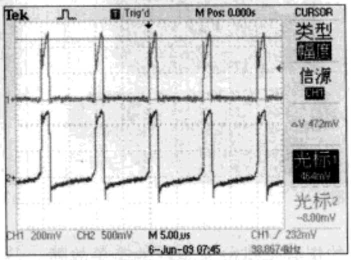


图8 1是P5点电压波形，2是P4点电压波形

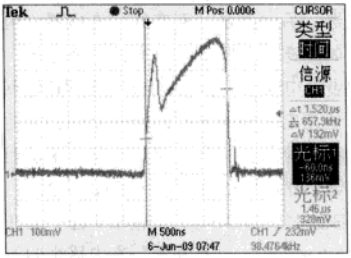


图9 P5点电压波形

RCC充电器属自激振荡开关电源，它无需激励电路就可自由振荡持续工作，工作方式类似《无线电》2009年第7期《电子镇流器的制作与检测》中VT1、VT2交替开关。正常工作时P2、P4点电压波形如图7。如果没有C1电路仍然能正常工作，但是整流后的100Hz脉动直流周期性冲击VT1，使VT1工作于险恶的环境下，它的安全性能大打折扣。

R4 是一个非常关键的元件，P5 点电压与 VT1 发射极电流成正比，电压越高 VT1 发射极电流越大，如图 8 信号 CH1。

图 8 显示在某负载下 P5 点电压峰值约为 472mV（ΔV472mV），由此可知 VT1 发射极电流峰值约为 69.4mA（472mV/6.8Ω）。此时，还可以粗略计算出占空比 D（$=t_{ON}/T$），方法如下：关掉通道 CH2 拉开波形，见图 9，启用数字存储示波器测量功能，测量 VT1 导通时间 t_{ON}=1.52μs，而开关频率 f=98.5kHz，即 T=10.15μs，因此 $D=t_{ON}/T\approx13.2\%$——这个数值显示负载比较轻！

理论分析：若以热地为参考点，当辅助绕组“④正③负”时P3电压为零（实际上约为-0.6V，VD7的箝位作用），当辅助绕组“③正④负”时P3电压为某个高电压，那么P3点电压状况究竟如何？实测P3点电压波形如图10，图10显示P3点电压近似矩形波，低电平宽、高电平窄（占空比D小），

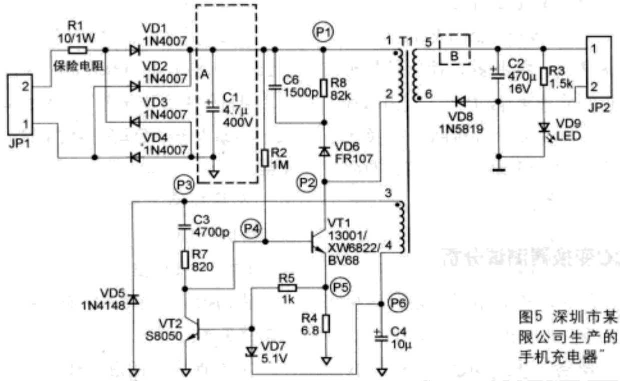


图5 深圳市某电子有限公司生产的“快速手机充电器”

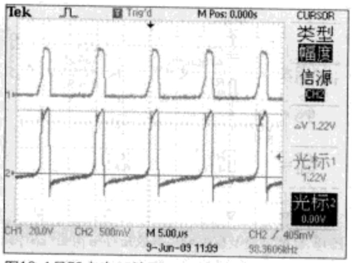


图10 1是P3点电压波形，2是P4点电压波形

高电平峰值接近40V，该电压是辅助绕组自感电动势与电容C4电压的叠加。

需要说明一下：正常工作时 P6 点电压相当稳定，电压值约 5.7V，该值等于 VD5 反向击穿电压和 VT2 发射结之和。

三 开关电源一般知识

1. 反馈电路

开关电源次级反馈控制电路一般采用图11的电路结构，输出电压V_{cc}可以表示成$V_{cc}=V_{ref}\times(1+R3/R4)$，其中$V_{ref}$=2.5V。TL431是这个电路的核心器件，R3和R4是采样电阻，由于TL431基准端基本不取电流，R3、R4分压节点的电压为2.5V。若由于某种原因使输出升高，节点电压随之升高，TL431导

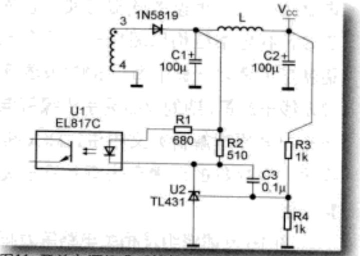


图11 开关电源标准反馈控制电路

通增强、吸纳更多电流，于是光耦二极管发光增强，从而控制初级开关电路，使输出电压降低。若输出降低，反馈电路同样能自适应调整，使输出电压升高。关于这个电路的结构和参数选择，有更多的专业知识和工作经验需要补充，但是，因篇幅所限，在此从略。

2. RCD吸收电路

参看图5，电阻R8、电容C6和二极管VD6构成RCD吸收电路，用以吸收VT1截止时变压器主绕组产生的反电动势。因为VT1截止时变压器主绕组产生的反电动势极性“①负②正”，该电压与电源同相串联施加到开关管VT1的集电极，VT1集电极将承受很高的电压，增加 RCD吸收电路可以适当减小峰值电压（原理类似于三极管控制继电器，在继电器两端反并联二极管，三极管由导通→截止时，继电器线圈感生电动势由反并联二极管提供电流通路、释放能量）。即使有RCD吸收电路保护，在VT1刚截止时集电极的电压仍然高达400V左右，见图7。若没有RCD吸收电路，VT1集电极电压更高——这是VT1安全工作的一大隐患。

许多国内厂商对RCD吸收电路认识不足，个别厂商更认为它可有可无，如图3所示的万能手机充电器干脆把RCD吸收电路去掉了——可以想象这个充电器安全工作状况如何了！

即使国内部分厂商保留该电路，但是对它的参数选择也是一塌糊涂，比如电阻阻值偏大、功率偏小，电容容量偏小、耐压偏低，很多厂商直接用1N4007，这哪儿成啊！1N4007是低速管，该处是高频信号，用高速管才行啊！

对 RCC 手机充电器而言，RCD 吸收电路经验参数如下：电阻 47～82kΩ，电容 1000～4700pF / 1000V，二极管：高速管。

3. 电源滤波器

为了提高整个系统 EMC 抗干扰性能，大功率开关电源在电源输入端一般会串入电源滤波器，见图 12。其中 C1、C2 用于抑制“共模干扰”，C3、C4 用于抑制“差模干扰”，NTC

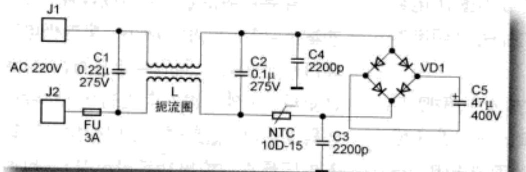


图12 电源滤波器

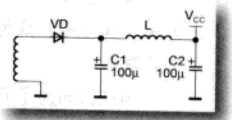


图14 π型滤波器

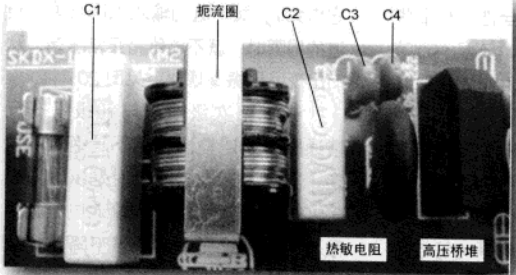


图13 电源滤波器实物图

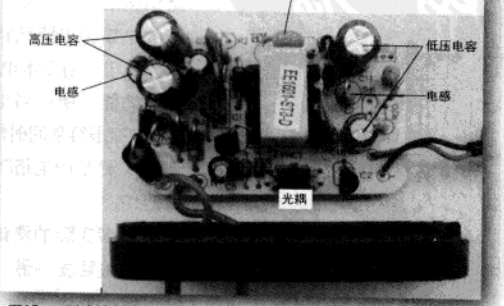


图15 π型滤波器实物（TA7型手机充电器）

是负温度系数的热敏电阻，可以减小上电瞬间大电流对C5的冲击，正常工作约10Ω。

如图13是保定市四北电子有限公司出品的SKDX-0610A开关电源局部，该部分就是电源滤波器。

为了减小输出电源的纹波，有的公司把次级整流后的单个电容滤波改为π型滤波器，电路见图14。这个电路结构同样适用于输入侧，如图5所示方框A位置，只是电容要换成高压型。在输出功率不大的情况下，电解电容的容量一般取值几微法～几十微法，电感的电感量为几微亨～十几微亨。

图15是丹阳市辰阳电子科技有限公司为夏新公司生产的TA7型手机充电器，设计者考虑到13001功率太小，改为13003作为开关管，反馈电路采用18标准结构，稳定性和可靠性都比较高。从实物图可以看出该充电器设计精细、用料考究，比珠三角地区杂牌厂生产的充电器“真实”多了！

四 RCC变换器等效拓扑电路研究

图5中辅助绕组整流方式和控制

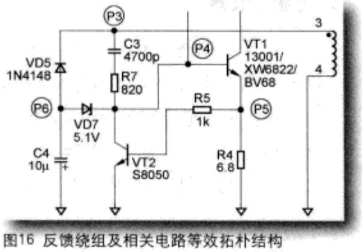


图16 反馈绕组及相关电路等效拓朴结构

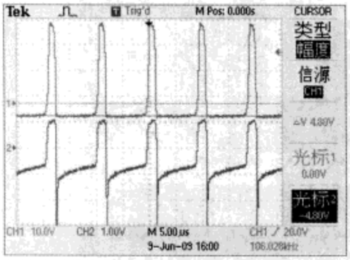


图17 1是P3点电压波形，2是P4点电压波形

电路不太符合大家的欣赏习惯，它的等效拓扑电路结构见图16——这个电路就是笔者之一葛中海于2004发表在《无线电》第7期的《简易手机镍氢电池充电器原理解析》文中讲过RCC变换器，有兴趣的读者可去查找它的完整电路。

图16反馈绕组及相关电路等效拓扑结构与图5工作原理基本相同，区别只是P3点电压波形见图10，沿纵向向下平移——因为图5开关管导通时P3点电压是反馈绕组感生电压与C4电压之和，而图16开关管导通时P3点电压就是反馈绕组感生电压，见图17。需要说明的是这个电路VT1具有过流保护功能，当P5点电压升高0.7V以上时VT2导通，拉低P4点电压，保证VT1的安全运行。

图5中VD7用于设置C4正极的直流电位，稳压值越大C4正极直流电位越高。由于初、次级之间没有反馈通路，次级输出电压就由VD7稳压值和主、辅绕组参数而定，稳压值越大输出电压越高，反之亦反。而等效拓朴电路中VD7用于设置C4负极的直流电位，稳压值越大C4负极直流电位越低，同时输出电压越高，反之亦反。

顺便提示：同样负载下图16电路开关工作频率升高为106kHz（频率高乃效率高）。

有些公司为了节省成本干脆把VT2去掉，在P4与地之间串入一只几千欧的电阻作为稳压管VD7的限流电阻，电路结构进一步简化，见图18。需要说明的是简化电路结构安全性、可靠性都降低了。由于本电路VT1不具有过流保护功能，所以当电路工作异常时，VT1和R4很容易同时烧断。

实测图18电路P3、P4点电压波形见图19。

笔者实际的测试体验：同样负载下，开关管发热最小的是图16等效拓扑电路，图5和图18差不多。

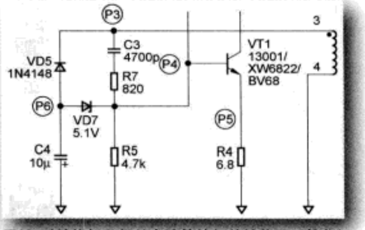


图18 反馈绕组及相关电路等效拓扑结构图（简化）

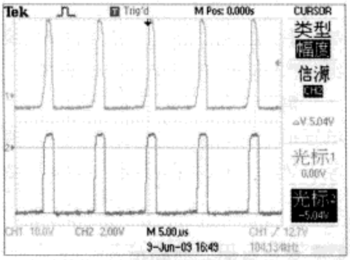


图19 1是P3点电压波形，2是P4点电压波形

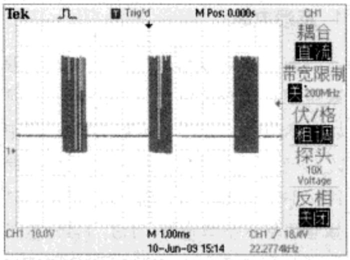


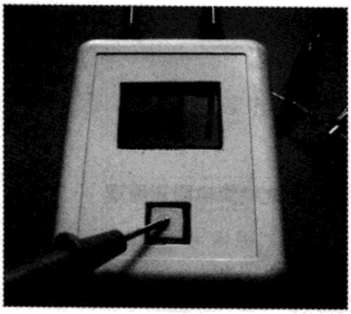
图20 轻载间歇振荡现象（原电路P3点电压波形）

需要说明的是，当负载较轻时VT1的基极电流i_B会相应减小，集电极电流峰值i_{CP}也减小，同时导通时间t_{ON}也随之变短。另外，输入电压的升高也会引起导通时间t_{ON}变短。可以想象：当输入电压最高，输出功率最小时t_{ON}也最短。若输入电压升高，输出电流又下降，它作为t_{ON}最小值的输入电压与输出电流的界限时，就不能维持正常振荡，从而出现间歇振荡现象，见图20。

该电路次级输出与初级没有反馈通路，所以输出电压不是绝对的稳定。实际上充电器设计时是以输入电压220V时来考量的，若输入电压减小很多，输出电压也会适当下降，负载很重时输出电压也会下降。

◎周长锁　侯善刚

你的电器漏电吗？
——DIY数字绝缘电阻表



由电力网供电的电气设备，如电机、电缆、家用电器等，在工作过程中常常会发生漏电这个安全问题，漏电的原因主要是绝缘材料破损、老化或是带电部分和设备外壳绝缘强度不够。为了避免事故发生，在工厂中就要求定期测量各种电气设备的绝缘电阻，当阻值小于规定的最低绝缘电阻值（不同电气设备标准可能不同）时，说明该电气设备已不能使用，必须修理或更换。民用电气设备一般没条件测量绝缘电阻，只是在出厂时测量合格，在使用中依靠漏电保护开关来避免漏电造成的事故，而发生漏电后的故障判断和查找，修复后是否还漏电就要用绝缘电阻表来测试了。

普通万用表电阻挡可以测几十兆欧以下的电阻值，但是其工作电压低，测量值不能反映在高电压条件下工作的真正绝缘电阻值。绝缘电阻表是测量绝缘电阻最常用的仪表，它在测量绝缘电阻时本身就有高电压电源，这就是它与万用表的不同之处。一般1kV以下电气设备用500V绝缘电阻表，1～10kV电气设备用2500V的绝缘电阻表。绝缘电阻表在电气设备设计测试、生产测试、交接验收测试、预防性维护测试以及故障定位测试中是必不可少的。作为普通电工是经常要用到绝缘电阻表的，绝缘电阻表因其读数单位为MΩ，所以也称兆欧表，又因为老式的绝缘电阻表是手摇发电的，也常称它为摇表。

本文将介绍老式绝缘电阻表原理，再介绍如何用单片机P89LPC922设计制作500V数字绝缘电阻表。与市售成品绝缘电阻表比较，本文中制作的绝缘电阻表体积小（70mm×95mm×28mm），方便携带，采用了16位A/D转换电路，测量范围大，可达到0.1～999MΩ。文中介绍的单片机直接驱动段式LCD的方法，16位A/D转换电路AD7705的使用方

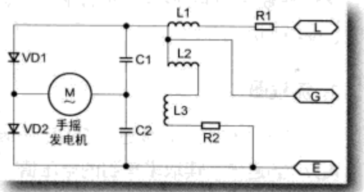


图1 老式绝缘电阻表原理图

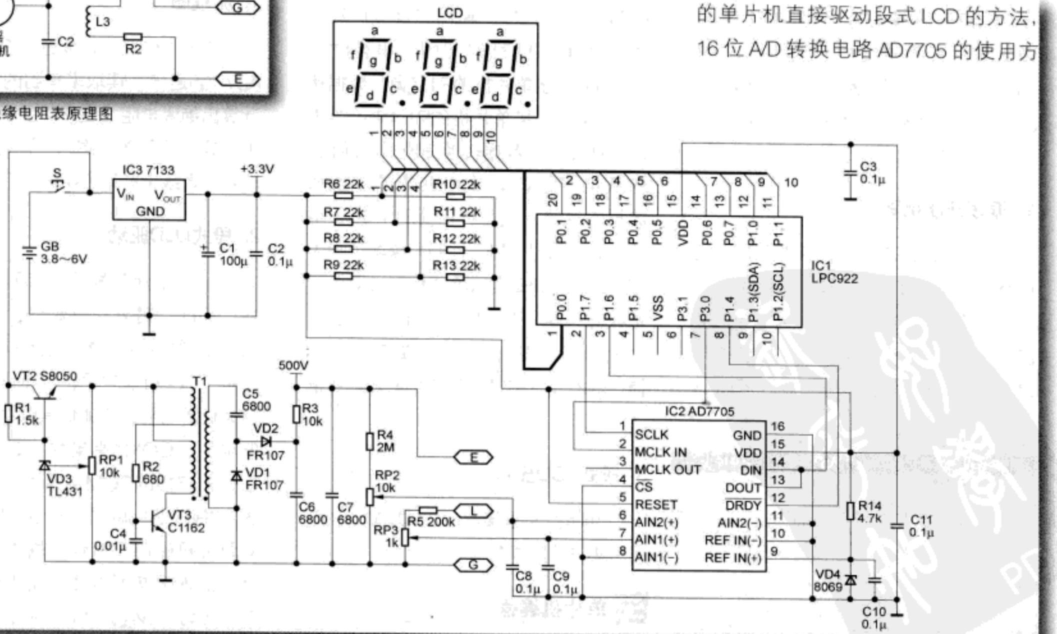


图2 数字绝缘电阻表原理图

法，对其他电路的设计可起到一定参考作用。

一 老式绝缘电阻表原理

老式绝缘电阻表由手摇交流发电机、倍压整流系统和磁电系流比计组成。其工作原理图见图1，VD1、VD2、C1、C2构成倍压整流系统，电流线圈L1、补偿线圈L2和电压线圈L3是表头内的线圈，带动表针指示读数，R1是电流回路限流电阻，R2是电压回路限流电阻。

使用时线路端钮L、接地端钮E接被测元件或设备，为防止被测物表面泄露电阻的影响，可以将被测物的中间层接保护端钮G。用120转/分钟的速度摇动发电机，发出的电流经过表头流经被测物，测出绝缘电阻值。

二 数字绝缘电阻表电路设计

数字绝缘电阻表由振荡升压、A/D转换和LCD显示3部分电路组成，电路原理见图2。被测物和采样电阻（R5+RP3）串联接入直流500V电源（测试过程中500V电压是会改变的），通过A/D转换得到准确的U_E、U_L，则被测物绝缘电阻R_x=（U_E/U_L -1）×（$R5+RP3$）。

1. 振荡升压电路

R2、C4、VT3、T1组成振荡升压电路，振荡频率约10kHz，制作时可直接使用照相机闪光灯的升压电路。输出的高频交流电压再经过倍压整流，得到约500V的直流电压。由VT2和IC3组成的电压调整电路是为了保证电源电压变化时，给振荡升压电路的电压是稳定的，使输出电压接近于500V。

表1 LCD引脚说明

引脚	COM1	COM2	COM3	COM4
1	COM1	/	/	/
2	/	COM2	/	/
3	/	/	COM3	/
4	/	/	/	COM4
5	2A	2B	2C	2D
6	2E	2F	2G	T1小数点
7	1A	1B	1C	1D
8	1E	1F	1G	T0小数点
9	0A	0B	0C	0D
10	0E	0F	0G	/

2. A/D转换电路

为了保证测试范围宽、精度高，使用了16位A/D转换电路AD7705。AD7705芯片是带有自校正功能的Σ-Δ于A/D 转换器。其内部由多路模拟开关、缓冲器、可编程增益放大器（PGA）、Σ-Δ调制器、数字滤波器、基准电压输入、时钟电路及串行接口组成。串行接口的引脚有$\overline{CS}$、SCLK、DOUT、DIN 和$\overline{DRDY}$，本设计中片选端（$\overline{CS}$）接地，始终为低电平，数据输入（DIN）、输出（DOUT）短接后接单片机的P1.6脚，串行时钟（SCLK）接单片机的P1.7脚，数据状态（$\overline{DRDY}$）接单片机的P1.4脚。当内部校准完成或数据转换完成后，$\overline{DRDY}$变低电平，此时单片机才可以读取数据寄存器。复位（RESET）接正电源。时钟信号（MCLK IN）频率范围为500kHz~5MHz，从单片机P3.0取得。基准输入端（REF IN+、REF IN-）接由ICL8069稳压得到的1.2V基准电压，2个模拟输入端（AIN1、AIN2）则分别测量U_E、U_L。

3. 段式LCD显示

用单片机直接驱动段式LCD，LCD的引脚说明见表1。

三 单片机编程

单片机使用的是P89LPC922，有8KB Flash程序存储器，256字节 RAM数据存储器，有2个16位定时/计数器，1个实时时钟。片内RC振荡器频率为7.373MHz，使能输出时钟功能时从P3.0脚输出的时钟频率为CCLK/2，即3.686MHz。

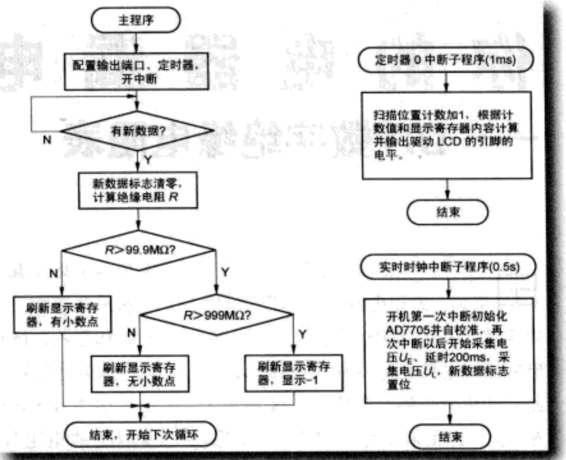


图3 软件流程图

1. 流程图

P89LPC922通过串行接口与AD7705通信，读取采集到的电压值，计算出绝缘电阻后在段式LCD上显示出来。软件流程图见图3，完整的程序可以到《无线电》杂志网站上下载。

2. 段式LCD驱动

设计中所用段式LCD有4个COM端，而LCD需要交流驱动，一次完整的显示需要扫描8次，依次是COM1高电平、COM1低电平、COM2高电平、COM2低电平、COM3高电平、COM3低电平、COM4高电平、COM4低电平。未扫描的COM端电平为1/2V_{CC}，图2中R6~R13就是接在COM端，当对应单片机端口设为仅为输入（高阻）时，COM端电平就由外接电阻分压决定，变为1/2V_{CC}。以COM1、COM2端为例，工作时电压波形见图4。在每

次扫描时，要显示的段位输出与COM相反的电位，不显示的段位输出与COM相同的电位。程序中用定时器0（1ms）来完成显示扫描，8ms刷新一遍显示。

3. A/D转换

AD7705的转换操作是通过对寄存器组的读写来实现的，寄存器组包括通信寄存器、设置寄存器、时钟寄存器、数据寄存器、测试寄存器、零标度校准寄存器和满标度校准寄存器。其中通信寄存器（8位）管理通道选择，决定下一个操作是读操作还是写操作，以及下一次读或写哪一个寄存器。所有对寄存器的读／写操作都必须从写入通信寄存器开始。设置寄存器（8位）决定校准模式、增益设置、单／双极性输入以及缓冲模式。时钟寄存器（8位）包括滤波器选择位和时钟控制位。数据寄存器（16位）储存了最近一次A／D采样的转换结果，器件输出的数据从这个寄存器读出。AD7705的基本读写时序见图5，片选端（$\overline{CS}$）接地，始终为低电平，图中没有画出。DOUT和DIN连在一起，单片机在读数据前先把P1.6脚拉高。

AD7705初始化步骤：

（1）写入32个1（即4个0xFF），复位串行接口。

（2）向通信寄存器写数据0x20，选择通道1，将下一个操作设为对时钟寄存器进行写操作。

（3）向时钟寄存器写数据0x1C，阻止主时钟在MCLK OUT引脚上输出，时钟2分频，输出更新率50Hz。

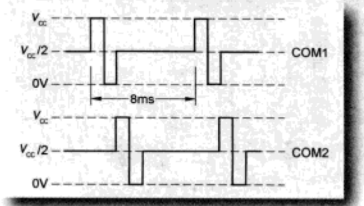


图4 COM端电压波形示意图

（4）向通信寄存器写数据0x10，选择通道1，将下一个操作设为对设置寄存器进行写操作。

（5）向设置寄存器写数据0x46，将增益设为1，设置为单极性，使能缓冲器，开始自校准。

（6）等DRDY变低，校准完成。

（7）向通信寄存器写数据0x21，选择通道2，将下一个操作设为对时钟寄存器进行写操作。

（8）向时钟寄存器写数据0x1C，阻止主时钟在MCLK OUT引脚上输出，时钟2分频，输出更新率50Hz。

（9）向通信寄存器写数据0x11，选择通道2，将下一个操作设为对设置寄存器进行写操作。

（10）向设置寄存器写数据0x46，将增益设为1，设置为单极性，使能缓冲器，开始自校准。

（11）等$\overline{DRDY}$变低，校准完成。

AD7705双通道数据采集步骤：

（1）向通信寄存器写数据0x38，选择通道1，将下一个操作设为对数据寄存器进行读操作。

（2）等$\overline{DRDY}$变低，A/D转换完成。

（3）从数据寄存器上读出16位通道1的数据。

（4）延时200ms。

（5）向通信寄存器写数据0x39，选择通道2，将下一个操作设为对数据寄存器进行读操作。

（6）等$\overline{DRDY}$变低，AD转换完成。

（7）从数据寄存器上读出16位通道2的数据。

4. 绝缘电阻计算

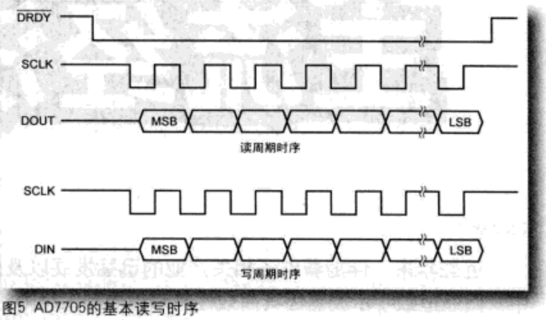


图5 AD7705的基本读写时序

测量到U_E、U_L就可以根据公式计算绝缘电阻值了，浮点运算比较麻烦，在保证精度的前提下可以转为整数运算，公式变为：

$$绝缘电阻R_x=(U_E/U_L-1)\times(R5+RP3)$$

$$=(U_E/U_L-1)\times 201\ 000/1\ 000\ 000\ (M\Omega)$$

四 电路调试

电路板焊接好后安装到塑料盒内，电源可选用1节可充电锂电池，在线路端钮L和接地端钮E间接入内阻为10MΩ的数字万用表，打到电压挡，按下按钮，电路上电，调整RP1使万用表电压显示为450V（此时不接表，空载电压将达到500V左右），调整RP2使其滑动端电压为0.918V。移开万用表，短接线路端钮L和接地端钮E，再测量RP2滑动端电压并记录，调整RP3使其滑动端电压与RP2滑动端电压相等，调试完成。实物图见图6。

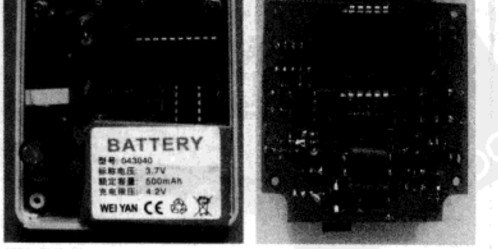


图6 实物图

主流经济型四通道

◎程建川

近些年来，伴随着电子相关产业的迅猛发展以及自动测试技术的普及，国内外数字示波器行业新品迭出。其中，四通道数字示波器因其高效性越来越受到工程师的欢迎。

本文选取目前市面上最主流的五款经济型四通道数字示波器，从基本性能、特色功能以及服务等角度对这些产品进行全方位的横向测评。

这些产品涉及安捷伦（Agilent）、泰克（Tektronix）、普源精电（RIGOL）、固纬（Instek）等国内外知名品牌。

测评产品简介

首先我们来看一下这些产品的概况，见表1（按发布时间顺序列表显示）。

表1　主流四通道数字示波器概况对比表

品牌	产品系列	上市时间	带宽	参考报价
泰克	TDS2000B	2002年	60/100/200MHz	USD 1940～2700
固纬	GDS2000	2006年	60/100/200MHz	RMB 11600～16600
普源精电	DS1000B	2008年	60/100/200MHz	RMB 11880～18880
泰克	MSO/DPO2000	2008年	100/200MHz	USD 3640～6050
安捷伦	DSO1000A	2009年	60/100/200MHz	USD 1733～2415

泰克TDS2000B系列

泰克的TDS2000B系列于2002年推向市场，包含2/4通道两个大类，采取了紧凑型超薄设计。其中四通道产品的具体型号为TDS2004B（60MHz）、TDS2014B（100MHz）以及TDS2024B（200MHz）。这个系列的四通道产品进入中国市场较早，有着较多的用户。但随着近些年来竞争产品的不断出现，其市场占有率在下降。

固纬 GDS2000系列

固纬作为传统的测试测量仪器制造商，在2006年就推出了GDS2000系列数字示波器，同样包含2/4通道两个大类，结构上还是采用了传统台式仪器的纵深式设计。其中四通道产品的具体型号为GDS-2064（60MHz）、GDS-2104（100MHz）以及GDS-2204（200MHz）。这个系列产品价格优势相对明显。

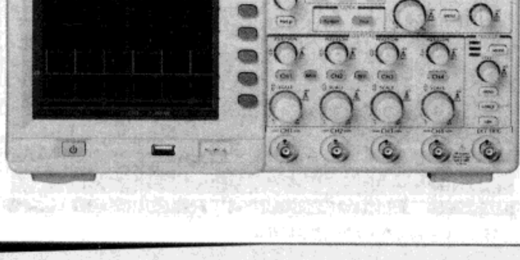
数字示波器横向测评

安捷伦DSO1000系列

安捷伦的整个产品线是侧重于高端产品的，一贯给人专业和标杆的印象。其于2009年二季度发布DSO1000A系列经济型2/4通道数字示波器，这无疑对四通道数字示波器产品的普及起到了推动的作用。该系列中四通道产品型号为DSO1004A（60MHz）、DSO1014A（100MHz）以及DSO1024A（200MHz）。DSO1000A系列具备极高的性价比，在保证安捷伦产品一贯优异性能的同时提供了颇具竞争力的价格，迅速占领着低端四通道示波器市场。

普源精电DS1000B系列

普源精电作为国内一颗冉冉升起的新星，不断以跨越式的精品路线赢得客户的尊重。DS1000B 系列四通道产品于 2008 年第二季度推出，采取了流行的紧凑型超薄设计。其型号包括 DS1064B（60MHz）、DS1104B（100MHz）以及 DS1204B（200MHz）。该产品采用了诸多新技术，并延续了 RIGOL 产品一贯的高性价比，受到了广大客户的欢迎。



泰克MSO/DPO2000系列

MSO/DPO2000系列是泰克在2008年的第四季度推出的一款经济型2/4通道混合信号示波器产品，它采用了数字荧光技术并配备了多种先进的功能，很大程度上弥补了TDS1000B系列性能上的不足，给客户提供了一个更优的选择，但其整体价位也相对偏高。四通道产品型号包括MSO/DPO2014（100MHz）以及MSO/DPO2024（200MHz）。

基本性能测评

我们选取这几款数字示波器中的200MHz带宽型号进行横向测评，分别从基本性能、特色功能和服务等几个维度来分析。

在基本性能测评中我们选取了采样率、存储深度以及波形捕获率三个最核心的指标来衡量，从指标来看（见表2），泰克的DPO/MSO2000系列数字示波器都具有很大的优势，但是1GS/s的采样率略显不足。为保证各款示波器的功能性卖点都得到体现，我们从各自的datasheet摘取部分文字引入后续的测评。下面我们对各个型号的仪器进行进一步分析：

表2 主流经济型四通道数字示波器性能测评表

品牌	产品系列	采样率	等效采样率	存储深度	波形捕获率
泰克	TDS2024B	2GS/s	无	2.5kpts	1000wfms/s
固纬	GDS-2204	1GS/s	50GS/s	500pts/25kpts	1000wfms/s
普源精电	DS1204B	2GS/s	50GS/s	16kpts	1000wfms/s
泰克	MSO2024	1GS/s	无	100kpts/1Mpts	5000wfms/s
安捷伦	DSO1024A	2GS/s	50GS/s	20kpts	400wfms/s

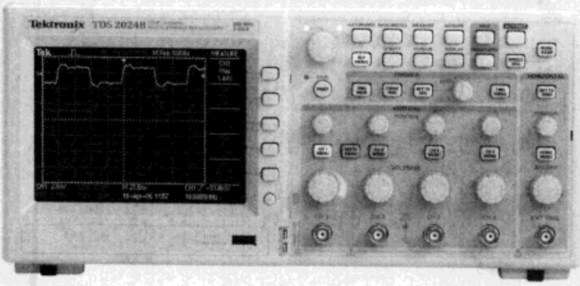
性能评分 6分

泰克TDS2024B

性能评价：这款产品在采样率方面表现优异，可以实现每通道2GS/s的实时采样。但其存储深度只有2.5 kpts，不到同类产品的1/6。另外，TDS2024B采用的是所见即所得的设计原理，即只有一屏的数据，客户无法获得屏幕外更多的采样点进行分析。虽然泰克官方的指标没有等效采样率的指标，但经过研究发现其在50ns/div以下的时基挡位还是自动进行了等效采样的插值算法。

功能简介

- ◇ 上下文相关帮助系统
- ◇ 彩色或单色LCD 显示器
- ◇ 可选的20MHz 带宽限制
- ◇ 每个通道2500 点记录长度
- ◇ 自动设置
- ◇ 自动量程
- ◇ 探头检查向导
- ◇ 设置和波形储存
- ◇ 用于文件存储的USB 闪存驱动器端口
- ◇ 直接打印到任何PictBridge 兼容打印机
- ◇ 使用OpenChoice PC 通信软件通过USB 设备端口实现PC通信
- ◇ 通过可选的TEK-USB-488 适配器连接到GPIB 控制器
- ◇ 光标带有读数
- ◇ 触发频率读数
- ◇ 11 种自动测量
- ◇ 波形平均和峰值检测
- ◇ 双时基
- ◇ 数学函数：+、- 和× 运算符
- ◇ 数学快速傅里叶变换（FFT）
- ◇ 脉冲宽度触发能力
- ◇ 可选择行触发的视频触发功能
- ◇ 外部触发
- ◇ 变量持续显示
- ◇ 十种语言的用户界面和帮助主题



性能评分 7分

固纬GDS-2204

性能评价：作为固纬的一个核心产品，只提供了1GS/s的实时采样率未免让人失望。另外，存储深度方面虽然提供了500pts和25kpts的选项。但实验发现，在25kpts的存储深度设置下，其波形的刷新速度明显下降，观察调频等快速变化的信号会有明显的间断。这样就大大降低了25kpts存储深度的价值。

功能简介

- ◇ 最快可侦测10ns 的脉冲。
- ◇ 5.6" 彩色TFT LCD 显示，可视角度宽广，8×12 格波形显示（关闭菜单）。
- ◇ 使用USB 接口的列表机和储存装置。
- ◇ 直流电源（选购的电池）操作。
- ◇ 每一信道的最高记录长度为25k 点。
- ◇ 自动测量的功能，最多27 种类型。
- ◇ 峰值侦测：10ns。
- ◇ FFT 频谱分析。
- ◇ 触发：视频（Video），脉冲宽度（Pulse Width），平均（Average），延迟（Delay）。
- ◇ 具有"Program"和"Play"模式。
- ◇ Go-No-Go 测试。
- ◇ 在线辅助功能（on-line help menu）。
- ◇ 免费计算机软件和使用示波器之RS-232，GPIB（选购佩备），USB 作为遥控接口。

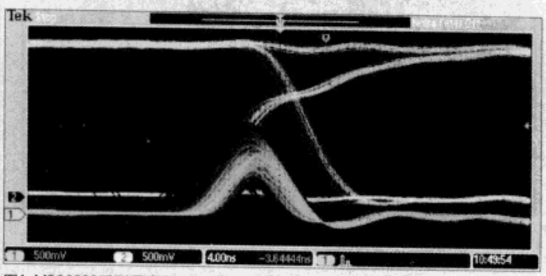


图1 MSO2000系列具有5kwfms波形捕获率

性能评分 8分

普源精电DS1204B

性能评价：这款产品在采样率方面达到了半通道2GS/s，并且提供了50GS/s的等效采样率用于对周期性重复信号的更优观测。其半通道16kpts的存储深度优势不大，并没有延续其DS1000系列产品的深存储设计。不过在功能方面DS1204B有了很大的突破，在特色功能测评部分我们会做详细的介绍。

功能简介

- ◇ 高清晰彩色液晶显示系统，320×240分辨率
- ◇ 支持即插即用USB存储设备和打印机，并可通过USB存储设备进行软件升级
- ◇ 模拟通道的波形亮度可调
- ◇ 自动波形、状态设置（AUTO）
- ◇ 波形存储、设置存储、8位位图、24位位图、PNG存储、CSV存储以及波形和设置再现
- ◇ 精细的延迟扫描功能，轻易兼顾波形细节与概貌
- ◇ 自动测量22种波形参数
- ◇ 自动光标跟踪测量功能
- ◇ 独特的波形录制和回放功能
- ◇ 内嵌FFT
- ◇ 实用的数字滤波器，包含LPF、HPF、BPF、BRF、Pass/Fail检测功能
- ◇ 多重波形数学运算功能
- ◇ 边沿、脉宽、视频、码型、交替触发功能
- ◇ 独一无二的可变触发灵敏度，适应不同场合下特殊测量要求
- ◇ 多国语言菜单显示
- ◇ 弹出式菜单显示，用户操作更方便、直观
- ◇ 多国语言帮助信息显示
- ◇ 支持中英文输入
- ◇ 符合LXI C类标准

性能评分 8分

安捷伦DSO1024A

性能评价：在采样率、存储深度这两个核心指标上都有优势，凭借着安捷伦过硬的品质和品牌，这款经济型四通道示波器无疑成为了一款精品，因而尽管上市时间不长，但在全球范围内收到了众多工程师的追捧。

功能简介

- ◇ 5.7英寸亮QVGA（320x240）TFT彩色LCD显示屏，占用空间小（节省工作台空间）。
- ◇ 自动电压和时间测量（22）以及光标测量。
- ◇ 触发功能强大（边沿、脉冲宽度、视频、样式和交替模式），具有可调整的灵敏度（过滤噪声并避免错误触发）。
- ◇ 数学函数波形：加、减、乘、FFT。
- ◇ USB端口（2个主机，1个设备），便于轻松打印、保存和共享波形、设置、屏幕BMP文件和CSV数据文件。
- ◇ 内置存储器，可存储10个波形和10个设置。
- ◇ 特殊数字滤波器和波形记录器。
- ◇ 内置6位硬件频率计数器。
- ◇ 多语言（11）用户界面菜单和内置帮助。

性能评分 10分

泰克MSO2024

性能评价：这款产品从性能上最优，虽然采样率方面只有RIGOL DS1204B的一半，但在存储深度和波形捕获率的指标上占有非常明显的优势。另外，区别于其他的几款四通道仪器，MSO2024采用了7英寸的WQVGA宽屏显示，并采取了全新的菜单设计，引领时尚。其另外一个特点在于配备了16通道的逻辑分析仪，让“4+16”混合信号测量在经济型数字示波器上成为现实。

功能简介

- ◇ 178mm（7英寸）WQVGA超大宽屏彩色显示器
- ◇ I2C、SPI、CAN、LIN、RS-232、RS-422、RS-485、UART总线触发和分析（使用合适的应用模块和型号示波器）
- ◇ Wave Inspector控制用于管理较长记录长度，包括缩放和平移、播放和暂停、搜索和标记
- ◇ 体积小，重量轻，厚度140mm（5.5英寸），重量3.6kg（7磅，14盎司）
- ◇ FilterVu提供可变低通滤波器，在阻止不需要的噪声同时仍能显示高频事件
- ◇ USB闪存驱动器端口可快速方便地存储测量结果
- ◇ 直接打印到任何PictBridge兼容打印机
- ◇ 以太网端口可通过可选的连接模块实现远程控制
- ◇ 视频输出端口可通过可选的连接模块在外部监视器上显示示波器屏幕
- ◇ USB 2.0设备端口通过USBTMC协议对示波器进行直接PC控制
- ◇ OpenChoice文档软件可将屏幕快照及波形数据快速传输到PC
- ◇ National Instrument的LabVIEW SignalExpress™ Tektronix Edition效率和分析软件通过e*Scope进行远程查看和控制
- ◇ 通过VISA连接进行远程控制
- ◇ TekVPI通用型探头接口支持有源探头、差分探头和电流探头进行自动设置标度和单位
- ◇ MSO2000系列混合信号示波器还提供：
  - ◆ 16个数字通道
  - ◆ 并行总线触发和分析
  - ◆ 通过P6316数字探头的便利设计方便连接被测设备

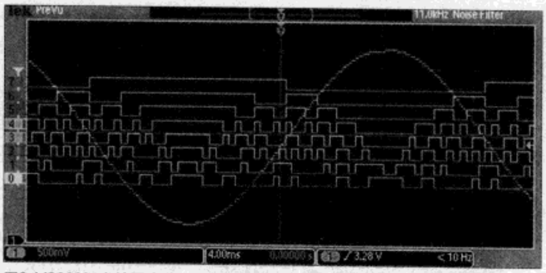


图2 MSO2024支持混合信号测试

测评小结

从基本性能测评的角度来看，排名前三的分别是泰克的MSO2024、安捷伦的DSO1024A和普源精电的DS1204B。俗话说在仪器行业产品性能是基础，在很大程度上决定着产品的档次。当然实际使用最终是以应用为导向，这时我们就需要进一步关注产品的功能了，下面一个章节我们将展开对这几款示波器功能的测评。

主要特色功能测评

在基本性能测评部分我们已列出了各款示波器的主要功能简介，对其有个整体的认识。

从官方的功能性指标来看，上述几款产品的功能有很多相似之处，我们还是重点关注一下功能之间的差异性。接下来对这几款示波器的特色功能进行测评。

TDS2024B特色功能——自动量程（Auto Range）功能

功能评分 5分

该功能可以自动调整设置值以适应信号，具体应用于信号幅度和频率发生较大的变化，或者探头移动到另一测试点的情况。如果信号发生变化时，其设置将持续跟踪信号。如信号的频率发生变化，示波器将自动调整水平时基挡位来帮助观测，若垂直电压发生变化，示波器将启动垂直挡位的自适应调整，以帮助信号保持一个相对理想的现实状态。

下列条件可导致自动量程对设置进行调整：

用以清晰显示触发源的波形周期太多或几乎没有（在“仅垂直”中时除外）

波形幅度太大或太小（在“仅水平”中时除外）

理想触发电平更改示

自动量程设置功能相对于常见的自动设置（AUTO）具有一些辅助性的优势，虽然对于信号的观测没有什么本质的影响，但客观的说还是一个很贴近客户使用的功能。具体优势体现在如下的一些测试中：

分析动态变化的信号

无需调整示波器即可快速比较几个连续的信号。如果您需要同时使用两个探头，或者因为另一只手腾不出来而只能用一只手使用探头，此功能非常有用。

控制示波器自动调整的设置

另外，TDS1024B还针对自动量程功能提供了选项：

如果信号的频率是变动的，而幅度相似，可以使用“仅水平”自动量程。示波器将调整水平设置，而不改变垂直设置。这样，可以直观地估计信号幅度，而无需担心垂直刻度的改变。“仅垂直”自动量程的作用相似，调整垂直参数而不改变水平设置。

当然，由于此功能也有一些应用的局限性，对示波器设置的下列更改将禁用自动量程：

伏/格禁用垂直自动量程

秒/格禁用水平自动量程

显示或删除通道波形

触发设置

单次序列采集方式

调出设置

Y 显示格式

余辉

功能点评：自动量程功能简单实用，有效加强了数字示波器的智能性，但实际应用有限。

GDS-2204特色功能——电池选件

功能评分 6分

电池供电的选项为诸多关注现场及野外测试的客户提供了方便，GDS-2204 这款示波器是上述产品中唯一提供此功能的。

该电池选件的规格说明为：

规格 Li-Ion，11.1V 1600mAh/每颗（一台机器两颗）
充电时间：约8小时（主电源，开关切到ON）
操作时间：约4小时

4小时的工作时间基本符合主流电池供电产品的指标，并配备了电池状态指示，可以让客户清晰地看到各个电池的工作情况。

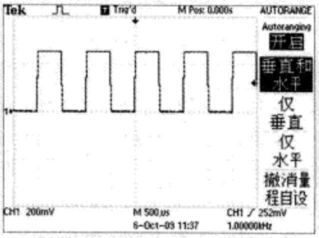


图3 自动量程功能

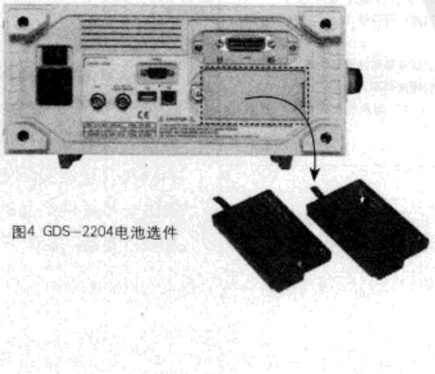


图4 GDS-2204电池选件

图5 GDS-2204电池状态显示

功能点评：电池供电为现场测试的客户提供了同端产品唯一的功能，电池供电时间符合主流配置。但是由于GDS-2000系列没有采用紧凑型的便携设计，使这个功能的优势大打折扣。

DS1204B特色功能——LXI-C类标准以太网接口

功能评分 9分

LXI这个名词今年来非常火热，已经日益成为接口编程的主流，大有替代在工业测试领域长期占据主导地位的GPIB接口之势。我们首先来看一下LXI的相关知识。

Agilent Technologies 和 VXI Technology 两公司于 2004 年建立的 LXI 联盟，目前已成长为拥有 40 多家制造商的集团。2005 年，也就是联盟成立仅仅一年后，该集团就发布了 LXI 规范的第一个版本。

图6 LXI联盟LOGO

所谓LXI就是一种基于以太网技术等工业标准的、由中小型总线模块组成的新型仪器平台。LXI仪器是严格基于IEEE 802.3、TCP／IP、网络总线、网络浏览器、M—COM 驱动程序、时钟同步协议(IEEE1588)和标准模块尺寸的新型仪器。与带有昂贵电源、背板、控制器、MXI卡和电缆的模块化插卡框架不同，LXI模块本身已带有自己的处理器、LAN连接、电源和触发输入。LXI模块的高度为一个或两个机架单位，宽度为全宽或半宽，因而能容易混装各种功能的模块。信号输入和输出在LXI模块的前面，LAN和电网输入则在模块的后面。LXI模块由计算机控制，所以不需要传统台式仪器的显示、按键和旋钮，同时由LXI模块组成的LXI系统也不需要如VXI或PXI系统中的0槽控制器和系统机箱。一般情况下，在测试过程中LXI模块由一台主机或网络连接器来控制和操作，等测试结束后它再把测试结果传输到主机上显示出来。LXI模块借助于标准网络浏览器进行错误浏览，并依靠M—COM驱动程序通信，从而便利了系统集成。

图7 RIGOL是LXI联盟的成员

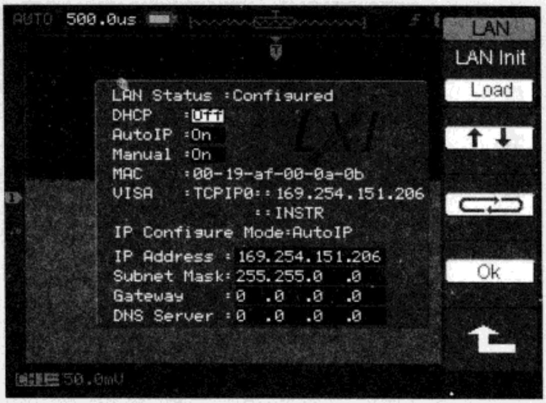


图8 DS1204B LXI配置界面

LXI标准分为三类，应用于不同的场合，具体如下所述：

C类是基本类型，它包括对 LAN接口和协议的全部要求，LAN查询功能，M 驱动程序接口，仪器网页，以及推荐的电源、冷却、尺寸、指示灯和复位按钮。所有LXI 仪器必须达到 C 类要求。

B 类包括全部 C 类要求并加上IEEE 1588 时间同步。因此有可能实现位于网络任何位置 LXI 设备的亚微秒级同步。B 类还增加对等和一对多的 LAN 信息传送模式(B 类和 A 类要求，C 类允许)。

A类包括C类和B类要求，并增加了使能相邻 LXI 仪器触发的硬件触发总线。该触发总线类似于VXI 的背板总线：这是 8 路的低电压差分总线，对相邻仪器能达到5ns/m 的定时精度。预期合成仪器将是符合A 类标准的仪器。

我们最常见的是符合LXI-C类标准的仪器，Agilent、R&S等知名厂商的仪器也大多支持LXI-C类标准。RIGOL于2007年成为LXI联盟的成员公司，并在后续的示波器、信号发生器、数字万用表、电源等产品中都引入了符合LXI-C类标准的以太网接口。2009年1月，RIGOL还获得了LXI Class C TestHouse认证，成为亚洲第一家LXI标准兼容性测试实验室。由LXI联盟授权，RIGOL测试实验室可以为仪器仪表设备制造商提供符合LXI协议Class C设备的标准兼容性认证和测试服务，通过RIGOL实验室的认证和LXI联盟的最终授权后，设备制造商将可以在获得认证的产品外观设计和市场宣传中使用LXI 标志。

通过标准化的 LXI-C 类以太网接口，我们可以非常方便地使用 VISA 库对仪器进行编程，并提供对 NI LabVIEW 和 Agilent VEE 仪器编程平台的支持。RIGOL 作为中国仪器行业的领军企业，持续创新，不断在仪器中引入业界最先进的技

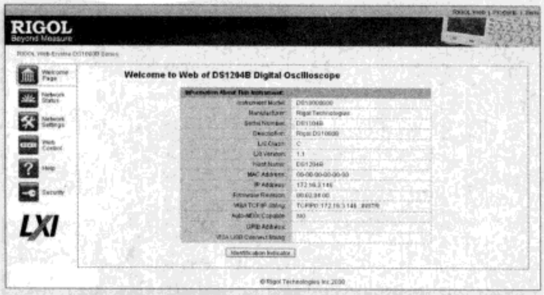


图9 LXI的Webcontrol界面

术，树立了良好的企业形象，得到诸多国人的支持。在接口编程方面，RIGOL 率先将 LXI-C 类以太网接口用于产品标配，同时也提供了 USB-GPIB 模块支持 GPIB 工业级接口，便于客户的选择。

功能点评：LXI-C类的标准化的仪器为客户对以太网的编程提供了方便，符合接口技术的发展趋势和主流厂商的方向，RIGOL的DS1204B在同类产品中唯一具备此功能。

MSO2024特色功能——波形搜索（Wave Inspector®）

功能评分 10分

Wave Inspector®是泰克最新推出的一项专利技术，其核心思想是方便客户从大量的数据中查找自己感兴趣的波形，目前配备于MSO/DPO 2000/3000/4000几款具有深存储的数字示波器中。利用这个功能，我们可以实现在大量数据中对波形进行缩放/平移，播放/暂停、标记和搜索功能，大大提高了波形测试的效率。

Wave Inspector®提供了一个专用的两层前面板缩放/ 卷动控制功能，可以有效地浏览波形。内部旋钮控制着缩放系数。顺时针旋转旋钮越多，放大系数越大。反时针旋转旋钮可以缩小，最终关闭缩放。外环是强制/速率敏感的卷动控制功能。顺时针旋转，可以把放大窗口向右卷动到波形上，反时针旋转则向左卷动。旋转得越多，缩放窗口在波形中移动得越快。通过简单地以希望的方向旋转卷动控制功能，我们

图10 Wave Inspector®面板布局

可以迅速从一个分组浏览下一个分组。即使是在1000 万点的采集中，也可以在几秒内，迅速把缩放窗口从记录一端移到另一端，而不必改变缩放系数。

功能点评：Wave Inspector® 作为泰克的创新之作，确实是非常经典的设计和功能，从此海量数据的查找变得轻松。

MSO2024特色功能——数据解码

功能评分 7分

MSO2024在诸多功能设计上实现了突破，并在这个档次的产品中引入了串行/并行总线解码功能。通过选配不同的模块，可以方便地对I²C、SPI、CAN、LIN和RS-232/422/485/UART等总线自动触发、解码。

具体的选项如下所示：

1. DPO2EMBD 嵌入式串行触发和分析模块

在I²C和SPI串行总线上启用包级别信息触发，以及总线视图、总线解码、搜索工具和具有时间戳信息的包解码表。

2. DPO2AUTO 汽车串行触发和分析模块

在CAN和LIN串行总线上启用包级别信息触发，以及总线视图、总线解码、搜索工具和具有时间戳信息的包解码表。

3. DPO2COMP 计算机触发和分析模块

允许进行RS-232、RS-422、RS-485 和UART 串行总线上的触发，并提供搜索工具、总线视图、十六进制/二进制/ASCII总线解码以及带时标信息的解码表。

4. DPO2CONN 连接模块

增加一个以太网端口用于远程控制，并增加一个视频输出端口用于在外部监视器上显示示波器屏幕。

功能点评：解码选项包含了较为完善的总线触发、解码功能，但是没有进行标配，要使用这些功能需要额外支付较

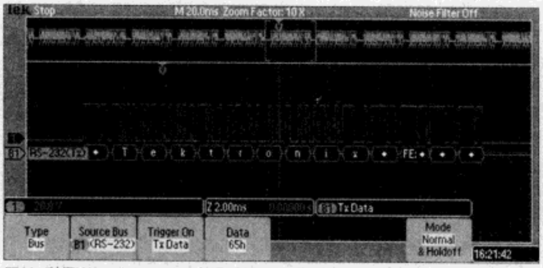


图11 利用Wave Inspector®实现对RS-232信号细节的分析

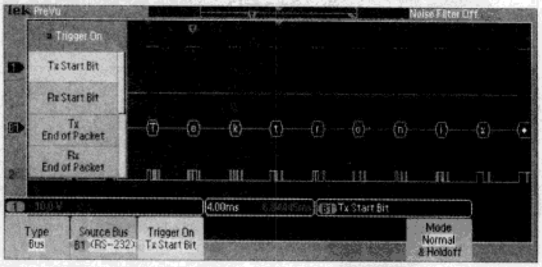


图12 MSO2024具有总线解码功能

高的费用。

DSO1024A特色功能——序列模式

功能评分 7分

DSO1024A在功能上延续了安捷伦低端产品的功能，没有进行创新。横向对比来看，序列模式算是这款机器的一个亮点。

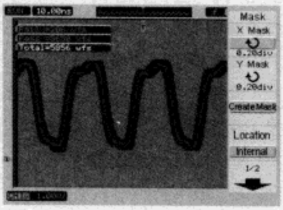


图13 序列模式可以与通过/失败检测配合使用

通过序列模式记录最多1000次触发产生的波形，然后进行回访，轻松找出毛刺和其他异常。序列模式可以将这些波形存储到示波器内存或外部的USB存储器中。同类产品中普源精电的DS1000B系列支持类似的功能，称为“波形录制”。我们可以应用此功能捕获多帧目标波形，并对这些波形进行后续的分析。

假设我们在测试过程中会随机的出现一些小的脉冲，脉宽在20ns，这样的一些波形平时观测起来是非常不容易的。这时我们可以将触发方式设置为脉宽触发，并设定脉宽规则为小于30ns，触发模式设定为普通。这样，序列模式就可以不断地记录这些随机的窄脉冲了。

另外，序列模式还可以与通过/失败检测功能配合使用，记录符合“通过”或“失败”规则的波形，这给我们的实际测试多了一个非常好的选择。

功能点评：序列模式可以有效对客户想要的波形进行记录，并可以配合通过/失败检测功能实现优化测量。但差异性不绝对，RIGOL的DS1204B具备类似的“波形录制”功能。

特色功能测评小结

通过以上的测评我们可以看到，以上的这些产品的功能大多大同小异，但泰克的MSO2024为客户提供了非常好的创新性功能，除了前面板按键设计打破常规外，还提供了总线触发/解码、波形搜索（Wave Inspector®）等新的功能，大大提高了测试效率。

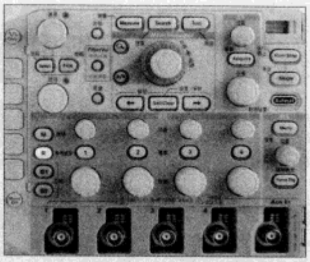


图14 MSO2024全新的前面板设计

服务测评

对于客户来说，除了产品的性能、功能外，服务是另外一个选型的关键点。分析后我们发现，各个厂家都推出了各具特色的服务产品，这可能是我们平时没有注意到的。下面的测评中我们将对各个厂家的服务进行较为全面的测评。

泰克

服务评分 8分

泰克的示波器产品标准保修期为3年，同时为客户提供了多样化的服务，如下：

◇ 维修计划

泰克的维修计划涵盖了3年/5年的产品保修和维修服务，3年/5年的多年保修服务以及1年/2年的保外维修服务。

对于以上维修计划分析后发现，其实都是延长保修期的方案，只是针对不同时间购买的客户做出了区分，具体为：“在购买设备时购买”、“在保修期内购买”以及“保修期过后购买”三个选项。对于TDS1000/2000B系列，泰克还特别推出了终身保修。

“产品终身”定义为从泰克产品停产(由泰克确定)后五年，但从原始购买者从泰克或泰克授权分销商原始购买之日起，保修期最短为10年。这一终身保修只适用于原始购买者，不可转让。

终身保修的前提是进行产品注册。“在发生终身保修项下的保修要求时，购买者必须提供令人满意的证据，证明从泰克或泰克授权分销商购买产品的日期，且购买者就是原始购买者。如果原始购买者从其购买产品之日起三年内把产品销售给或通过其他方式转让给第三方，那么保修期为原始购买者从泰克或泰克授权分销商购买产品之日起三年。终身保修不包括探头和其他配件、电池和熔丝。”

表3 泰克维修计划一览表

方案类型	方案代码	方案期限	购买时间	备注
产品保修和维修服务	R5	5年，包括产品保修期	在购买设备时购买	在设备使用寿命期间最大限度地节约维修费用
产品保修和维修服务	R3	3年，包括产品保修期	在购买设备时购买	在设备使用寿命期间最大限度地节约维修费用
多年保修服务	R5DW	5年，包括产品保修期	在保修期内购买	5年期从购买保修设备开始起算
多年保修服务	R3DW	3年，包括产品保修期	在保修期内购买	3年期从购买保修设备开始起算
保外维修服务	R2PW	2 年	保修期过后购买	2年期从购买保修设备开始起算
保外维修服务	R1PW	1 年	保修期过后购买	1年期从购买保修设备开始起算

表4 Tektronix校准计划一览表

方案类型	说明
CA1	提供一次校准服务或以指定校准间隔校准一次，以先到者为准.
C3	以建议间隔提供整整三年的校准服务，包括在交付产品时首次校准.
C5	以建议间隔提供整整五年的校准服务，包括在交付产品时首次校准.

“本保修不适用于因事故、机械元件正常磨损、使用不符合产品规范、使用不当或维护和保养不当或不足而导致的任何缺陷、故障或损坏。在本保修中，泰克没有义务提供下述服务：a) 维修泰克代表之外的人员试图安装、维修或保养产品而导致的损坏，b) 维修因使用不当或连接不兼容设备导致的损坏，c) 维修因使用非泰克提供的部件而导致的任何损坏或故障，或d) 保养已经被修改或与其他产品集成、且这些修改或集成提高了产品保养时间或难度的产品。”

泰克的终身保修政策对于TDS1000/2000B系列的用户确实是非常有诱惑力的，但是我们可以看到，诸多的条件限制和免责声明让这个终身保修的实际意义很有限。

◇ **校准计划**

校准对于仪器的使用是至关重要的，这也是经常被客户忽略的地方。通过校准我们可以保持仪器的准确度，以保证测试的有效性。Tektronix提供了单次的校准服务以及3年/5年可选的校准计划。但高昂的价格可能是影响客户选择的障碍，以单次校准为例，TDS2024B的服务报价135美金，MSO2024的服务报价为245美金。在泰克校准服务的专业性和价格两个方面，客户需要做出选择。

◇ **现场服务计划**

泰克还提供了现场服务计划，具体内容是现场校准和维护服务。服务政策中没有对此项服务的细节进行说明，具体的方案无法获知。

服务点评：泰克的服务方案较为全面，涉及了保修校准两个方面，针对TDS1000/2000B还特别推出了“终身保修”政策。但服务产品的价格较贵。

固纬

服务评分 6分

固纬示波器的标准保修期为三年，除此之外，还针对GDS1000/2000系列提供了终身保修政策，我们来看一下该保修的部分条款：

「产品保修期限」定义

产品保修期限定义为自固纬电子或授权的固纬电子经销商（代理商）购得该产品并完成注册日算起， 至固纬电子产品停产后 5 年的承诺维护终止期为止（停产时间由固纬电子发布决定）。

◇ **终身保修产品范围**

购买固纬电子产品 GDS-1000/ GDS-2000 系列数字示波器并完成注册者，经过固纬电子审核符合「产品保修期限」的定义，且在符合本条款相关规定的前提下，予以原始购买者产品终身保修的承诺。

◇ **其他例外事项**

固纬电子只在产品的本身方面提供应有的保修。如果是下列特殊例外情况，固纬电子并无义务提供保修方面的服务，但可接受付费维修的服务：

1. 运送时的不当损坏。

2. 因意外、人为破坏、不当使用或安装以及自行变更零件造成的损坏;使用者的滥用、误用、疏忽、维修或擅自修改。

3. 天然灾害等所造成的损坏。

4. 产品外观脏污老化、机械零件日常磨损、产品本体以外之附属配件如：电源线、测棒（线）等。

5. LCD 仅保修一年，电池仅保修三个月。

6. 产品或其零件已超过本身的终身保修或保修期。

我们可以看到，固纬的终身保修政策加入了对LCD和电池的保修限制，分别限制为一年和三个月，相对于通常保修中对LCD三年的保修政策反而不及。

固纬除此之外没有提供更多的服务选择，不免有点让人失望。

服务评价：服务仅提供终身保修政策，且设置了较多的限制和免责，对LCD甚至只保修一年，终身保修有其名而无实。

普源精电

服务评分 10分

普源精电示波器产品的标准保修期为三年，此外提供了非常全面的增值服务计划——无忧保障计划，内容涵盖全面保修、延长保修和校准服务三个方面。具体为：

◇ **无忧维修计划**

无忧维修计划的服务核心是“为意外损坏保险”，服务

表5 普源精电无忧维修计划一览表

服务代码	服务期限	说明
MP3	标准保修期内	自购买之日起至标准保修期结束
MP4	标准保修期结束后1年内	标准保修期结束后1年内享有无忧维修计划
MP5	标准保修期结束后2年内	标准保修期结束后2年内享有无忧维修计划

表6 普源精电无忧延保计划一览表

服务代码	服务期限	说明
EP1	标准保修期结束后1年内	自购买之日起至标准保修期结束
EP2	标准保修期结束后2年内	标准保修期延长1年

表7　普源精电无忧校准计划一览表

服务代码	服务期限	说明
CPC3	3年	标准保修期内享有RIGOL推荐校准周期的公司级校准服务
CPV3	3年	标准保修期内享有RIGOL推荐校准周期的计量级校准服务

可选3年/4年/5年。除了提供标准保修的服务外，购买此项服务的客户还可以获得对诸如跌落损坏、集成拆机、表面部件损坏等标准保修不涉及的全面保障。

◇ 无忧延保计划

无忧延保计划的服务核心是“让标准保修延续”，此项服务可选延长保修期1年/2年。标准保修期3年对于很多客户来说是不够的，过保后的收费维修问题让不少客户苦恼不已。通过购买此项服务，可以大大降低仪器器件老化带来的维修风险。

表8　安捷伦服务产品一览表

<table>
<tr><th>计划</th><th>说明</th><th>好处</th></tr>
<tr><td>预付服务选项</td><td>· 在购买硬件的同时购买扩展的修理和校准覆盖期
· 适用于校准计划提供覆盖期内所有推荐的校准</td><td rowspan="7">· 在 3年/5年内没有未列入计划的维护费用
· 最低价的购买选项
· 减少交易麻烦
· 对扩展时间期内的价格保护</td></tr>
<tr><td>R-50C-011-3/5</td><td>在购买硬件时购买校准服务</td></tr>
<tr><td>R-50C-013-3/5（增强）</td><td rowspan="3">在购买硬件时购买标准遵从校准服务（提供调整前后的校准数据）</td></tr>
<tr><td>R-50C-016-3/5（17025）</td></tr>
<tr><td>R-50C-021-3/5（Z540）</td></tr>
<tr><td>R-51B-001-3C/5F</td><td>在购买硬件时购买返回Agilent修理覆盖，它提供类似保修期的保护</td></tr>
<tr><td>R-51C-001-3C/5F</td><td>在购买硬件时购买现场修理覆盖，它提供类似下一天的保修期保护</td></tr>
</table>

◇ 无忧校准计划

RIGOL 同样提供了针对客户的校准服务计划，提出“让仪器持续精准”的服务口号。并针对客户的需求提供了公司级校准和计量级校准两种服务。既符合了客户对仪器准确度的要求，也消除了部分 ISO9000 公司客户对于仪器年检的顾虑。

服务评价：普源精电提供了较为完善的服务方案，涵盖了全面保修、延长保修和校准计划三个方面。创新性地提供全面保修方案，让客户的使用真正做到无忧。

安捷伦

服务评分 7分

安捷伦示波器产品的标准保修期为三年，对于客户的维修和校准需求提供了多种服务选项，如表8所示。

通过分析可以看出，安捷伦的所有服务均提供了3年/5年的选项，但并没有涉及全面保修的服务内容。安捷伦依托于其强大的校准能力，为客户提供了多样化的校准服务种类，分为基本型、增强型、17025标准、Z540标准四类。另外，上述服务在中国地区提供得比较有限，如对于DSO1024A而言，仅提供3年/5年的校准服务和5年的保修服务。

服务评价：安捷伦提供了较为完善的服务选项，包括了保修和校准两个方面，但是没有终身保修政策和全面保修服务。

测评总结

本文分别从基本性能、特色功能和服务三个维度，对目前市面上主流的五款经济型四通道数字示波器进行了横向的测评，并分别给各款产品进行了性能、功能、服务的评分。

通过以上的测评我们可以清晰地看到，泰克的MSO2024在性能、功能方面相对于其他几款产品具备绝对的优势，尽管售价偏高本文还是给予推荐，评为最优秀产品。泰克的另外一款产品TDS2024B尽管在测评中没有什么优势，但考虑其上市时间最早且在中国市场的广泛认同度，被评为经典产品。普源精电的DS1204B在性能、功能和服务方面表现抢眼，获得最具性价比产品的评价。安捷伦的DSO1024A综合表现不错，考虑到其品牌和品质优势，本文认为是竞争力产品，相信会有不错的销售表现。固纬的GDS-2204这款产品由于在各个方面缺乏优势，可以作为四通道数字示波器入门产品。

表9　主流四通道数字示波器综合评价表

品牌	型号	性能得分	功能得分	服务得分	评价
泰克	TDS2024B	6	5	8	经典产品
固纬	GDS-2204	7	6	6	入门产品
普源精电	DS1204B	8	9	10	最具性价比产品
泰克	MSO2024	10	10	8	最优秀产品
安捷伦	DSO1204A	8	7	7	竞争力产品

后记

四通道数字示波器在中国市场逐渐为广大工程师所认同，各个厂商也瞄准这个市场推出了自己的产品。本文以测评的形式对主流经济型四通道数字示波器进行了分析，希望可以为工程师的产品选型带来帮助。选择示波器产品往往不能一味地追求品牌、价格、性能、功能或服务的某一方面。需综合考虑诸多因素，结合实际应用，选择一款适合自己的仪器。

怎样选购示波器

◎王军

如果说万用表是电子工作者的两条腿，那么可以毫不夸张地说，示波器就是电子工作者的一双眼睛！也许有些“高手”会说，那么多年了，我没有示波器也过来了啊！没错，我们闭上眼睛，可以从厨房走到卧室，也可以穿越街区。但很显然，如果睁开眼睛去走，则速度要快得多，而且可以少走一些弯路。

万用表在直流电路中身手不凡，但是在其他电路中却经常是英雄无用武之地。特别是现在的电子电路越来越复杂，数字电路越来越多，频率越来越高，没有示波器常常寸步难行。而示波器的发展速度很快，特别是现在的数字示波器的价格已经下降到模拟示波器的水平，甚至某些种类还低于模拟的。有些人在选购时不知道该买哪一种。本文就来谈一下示波器的选购与使用。

一 示波器简单介绍

从使用者的角度可以把示波器分为5种：

1. 模拟示波器（为节约文字，本文简称ASO，尽管有人称之为ART（Analog Real Time）示波器）

2. 数字示波器（DSO）

3. 数字荧光示波器（DPO）

4. 虚拟示波器

5. 示波表

模拟示波器（ASO）是传统示波器，也是目前拥有量最大的示波器。主要元件是阴极射线管，管内有电子枪、水平和垂直偏转板及荧光屏。扫描电路产生的锯齿波电压加到水平偏转板，就会使光点在水平方向左右移动，达到一定速度就成了扫描线。再在垂直偏转板加入放大后的被测信号，调节扫描速度和同步，就可以在荧光屏上显示出信号波形。

数字示波器（DSO）与ASO不同，它能够持久地保留信号，可以对波形进行各种处理。水平扫描电路在固定的时间间隔产生采样脉冲，对这个时段的垂直信号电压进行模数转换，采样位置的信号电压转换为数字值，这些数字值称为采样点数值，该处理过程称为信号数字化。水平系统的采样时钟决定模数转换器（ADC）的采样频度，该速率称为采样速率，表示为样值每秒（S/s）。

经过模数转换器（ADC）得到的数字信息，被存储器存储下来，存储限度是判断累计的样值是否能描绘出波形为止。随后，数字示波器重构波形。对重复的信号而言，数字示波器的带宽是指示波器的前端部件的模拟带宽，一般称之为-3dB点。对于单脉冲和瞬态事件，例如脉冲和阶跃波，带宽局限于示波器采样率之内，但是最多是采样率的一半。

DSO信号通道中包括微处理器，被测信号在显示之前要通过微处理器处理。微处理器处理信号、调整显示运行、管理前面板调节装置等。信号通过显存，最后显示到示波器屏幕上。

数字荧光示波器（DPO）：DSO是使用串行处理的结构来捕获、显示和分析信号；相对而言，DPO为完成这些功能采用的是并行的体系结构。与ASO依靠化学荧光物质不同，DPO使用完全的电子数字荧光，其实质是不断更新的数据库。针对示波器显示屏幕的每一个点，数据库中都有独立的单元。一旦采集到波形（即示波器一触发），波形就映射到数字荧光数据库的单元组内，每一个单元代表着屏幕中的某位置。当波形涉及该单元，单元内部就加入亮度信息，没有涉及则不加入。因此，波形经常扫过的地方，亮度信息在单元内会逐步累积。当数字荧光数据库传送到示波器的显示屏幕后，根据各点发生的信号频率的比例，显示屏展示加入亮度形式的波形区域，这与ASO的亮度级特性非常类似。DPO也可以显示不断变化的信号频率的信息，显示屏对不同的信息呈现不同的颜色，这一点与ASO不同。利用DPO，可以比较由不同触发器产生的波形之间的异同，DPO突破了ASO和DSO技术之间的障碍，它同时适合观察高频和低频信号、重复波形，以及实时的信号变化。只有DPO实时提供Z（亮度）轴，常规的DSO没有这一功能。

虚拟示波器可以看成是没有显示屏的数字示波器，要通过电脑帮忙才能得到示波器这个名分。其他方面同普通的DSO没有区别。

示波表其实就是掌上型示波器，相当于小型化的DSO，功能也和DSO没有区别，示波表大多同时还带有万用表功能。示波表一般都带有可充电电池，方便现场测量。

二 怎样选购示波器

1. 用途定位

首先确定必备的工作和示波器的用途。内容包括：你要知道你是做什么工作的，是搞维修还是搞设计？用示波器观察什么？即要捕捉并观察的信号其典型性能是什么？信号是

否有复杂的特性？是重复信号还是单次信号？测量的信号过渡过程带宽，或者上升时间是多大？打算用何种信号特性来触发？需要用短脉冲、脉冲宽度、窄脉冲等特殊触发吗？需要同时显示多少路信号？

2. 示波器的指标精度

示波器的指标有很多：如垂直灵敏度、带宽、扫描速度、增益精度、时间基准、垂直分辨率等。如果你仅仅是一般的维修人员，通常只要关心一下带宽和灵敏度就够了。如果是设计工程师，最好还要关心一下其他参数，比如上升时间等。

3. 带宽

带宽一般定义为正弦输入信号幅度衰减到-3dB时的频率，即70.7%，带宽决定示波器对信号的基本测量能力。随着信号频率的增加，示波器对信号的准确显示能力将会下降，如果没有足够的带宽，示波器将无法分辨高频变化。幅度将出现衰减，边缘将会消失，细节数据将被丢失。带宽的选择还同你的工作性质有关，如果你是搞维修的，带宽同你工作中遇到的最高带宽一样就行了。但你如果是搞研究的，一个决定你所需要的示波器带宽有效的经验法则是“5倍准则”，即将你要测量的信号最高频率分量乘以5。这将会使你在测量中获得高于2%的精度。在某些应用场合，你不知道你感兴趣的信号带宽，但是你知道它的最快上升时间，大多数字示波器的频率响应用下面的公式来计算关联带宽和仪器的上升时间：*BW*=0.35/信号的最快上升时间。

带宽是示波器最重要的指标之一。ASO的带宽是一个固定的值，而DSO的带宽有模拟带宽和数字实时带宽两种。DSO对重复信号采用顺序采样或随机采样技术，所能达到的最高带宽为示波器的数字实时带宽，数字实时带宽与最高数字化频率和波形重建技术因子K相关（数字实时带宽=最高数字化速率/K），一般并不作为一项指标直接给出。从两种带宽的定义可以看出，模拟带宽只适合重复周期信号的测量，而数字实时带宽则同时适合重复信号和单次信号的测量。厂家声称示波器的带宽能达到多少兆，实际上指的是模拟带宽，数字实时带宽是要低于这个值的。所以在测量单次信号时，一定要参考DSO的数字实时带宽，否则会给测量带来意想不到的误差。

4. 采样速率

这是DSO的一项指标。采样速率也称为数字化速率，是指单位时间内，对模拟输入信号的采样次数，常以MS/s表示，指数字示波器对信号采样的频率。示波器的采样速率越快，所显示波形的分辨率和清晰度就越高，重要信息和事件丢失的概率就越小。采样速率是数字示波器的一项重要指标。

如果需要观测较长时间范围内的慢变信号，则最小采样速率就变得较为重要。为了在显示的波形记录中保持固定的波形数，需要调整水平控制按钮，而所显示的采样速率也将随着水平调节按钮的调节而变化。

如果采样速率不够，就容易出现混叠现象，为了准确地再现信号并避免混淆，奈奎斯定理规定：信号的采样速率必须不小于其最高频率成分的两倍。然而，这个定理的前提是基于无限长时间和连续的信号。由于没有示波器可以提供无限长时间的记录长度，而且，从定义上看，低频干扰是不连续的，所以采用两倍于最高频率成分的采样速率通常是不够的。

采样速率的计算方法取决于所测量的波形的类型以及示波器所采用的信号重建方式。实际上，信号的准确再现还取决于其采样速率和信号采样点间隙所采用的插值法，简称内插。一些示波器会为操作者提供以下选择：测量正弦信号的正弦插值法，以及测量矩形波、脉冲和其他信号类型的线性插值法。

有一个在比较取样速率和信号带宽时很有用的经验法则：如果你正在观察的示波器有内插，则“取样速率/信号带宽”的比值至少应为4：1。无正弦内插时，则应采取10：1的比值。

5. 屏幕刷新率

这也是DSO的一项指标。所有的示波器都会闪烁，也就是说，示波器每秒钟以特定的次数捕获信号，在这些测量点之间将不再进行测量。这就是波形捕获速率，也称屏幕刷新率，表示为波形数每秒（wfms/s）。采样速率表示的是示波器在一个波形或周期内，采样输入信号的频率，波形捕获速率则是指示波器采集波形的速度，波形捕获速率取决于示波器的类型和性能级别，且有着很大的变化范围。高波形捕获速率的示波器将会提供更多的重要信号特性，并能极大地增加示波器快速捕获瞬时的异常情况，如抖动、矮脉冲、低频干扰和瞬时误差的概率。

数字存储示波器（DSO）使用串行处理结构每秒钟可以捕获10～5000个波形。DPO数字荧光示波器采用并行处理结构，可以提供更高的波形捕获速率，有的高达每秒数百万个波形，大大提高了捕获间歇和难以捕捉事件的可能性。

6. 存储深度

这是DSO的另一项指标。存储深度是示波器所能存储的采样点多少的量度。如果我们需要不间断地捕捉一个脉冲串，则要求示波器有足够的存储器以便捕捉整个事件。将所

要捕捉的时间长度除以精确重现信号所需的取样速度，可以计算出所要求的存储深度，也称记录长度。

现代的示波器允许用户选择记录长度，以便对一些操作中的细节进行优化。分析一个十分稳定的正弦信号，只需要500点的记录长度。但如果要解析一个复杂的数字数据流，则需要有百万个点或更多点的记录长度。

7. 触发类型

示波器的触发能使信号在正确的位置点同步水平扫描，决定着信号特性是否清晰。触发控制按钮可以稳定重复的波形并捕获单次波形。

多数情况下我们只采用边沿触发方式，但是在有些场合，我们可能需要其他触发方式才能同步波形，比如，观察视频信号需要用视频触发。对 DSO 来说，先进的触发方式可将所关心的事件分离出来，从而最有效地利用取样速度和存储深度。

现今很多示波器都具有先进的触发能力，能根据由幅度定义的脉冲（如短脉冲）、由时间限定的脉冲（脉冲宽度、窄脉冲、转换率、建立/保持时间）和由逻辑状态或图形描述的脉冲（逻辑触发）进行触发。扩展和常规的触发功能组合也帮助显示视频和其他难以捕捉的信号，如此先进的触发能力，在设置测试过程时提供了很大程度的灵活性，而且能大大地简化工作。

如果你是搞家电维修的，或者其他需要测量视频信号的人员，建议购买具有视频触发功能的示波器，如果是搞数字电路设计的，建议购买带有脉冲和逻辑触发的示波器。

8. 通道数量

通道数量取决于应用场合。观测一个信号，可选用简易示波器，同时观测、比较两个信号，可选用双通道示波器。如果要求观察若干个信号的相互关系，将需要一台4通道示波器。随着被观测系统数字成分的增加，传统的双通道示波器或四通道示波器已难以满足同时捕获足够通道数量被测信号的要求。这时，应将示波器和逻辑分析仪等组合起来使用，或者使用一台将几种仪器组合在同一台机箱内的组合示波器（如将16通道的分析仪集成在DSO中的混合信号示波器），利用逻辑分析仪的触发能力帮助示波器采集数据，同时测量不同类型和不同速度的信号。

9. 测量和分析特性

自动测量有助于信号检验和故障检测。很多示波器可以自动测量周期、频率、幅度，性能好一些的还可以测量平均值、峰峰值、均方根值、最大值、最小值、过冲、欠冲、上升时间、下降时间、正脉宽、负脉宽、正占空比、负占空比等。有些示波器还有更高级的分析能力，如FFT。一般的DSO都或多或少地有自动测量功能，而ASO具有这些功能的却不多，特别是一些早期产品，有这些功能的典型的ASO有V1065、V1565、TEK2245A、TEK2400系列、OS5100RA、OS5100RB、PM3082、SS7802、SS7810等。不过，目前生产的档次高一点的ASO几乎都具有自动测量功能。然而对于一般的维修人员，是否具有这些功能并不很重要，这些功能在大多数情况下形同摆设。在我们可以熟练地使用示波器，并对被检测设备的一些常见工作点的波形形状、幅度及频率或者脉宽有了经验后，只要把示波器的灵敏度和扫描时间放在熟悉的挡位就可以了。

10. 二手示波器

如果预算有限，可以考虑购买二手示波器，目前市场上二手示波器占有可观份额。之所以有如此地位，是由于它们具有一些显著的优点。首先，当然是价格便宜，一般花原值10%～50%的价钱就可以买到。其次，目前大部分二手仪器有图纸，这非常有用。现在新的示波器很少有图纸，特别是数字示波器，如果坏了，用户很难自己修好，而到厂家修又很昂贵。再次，电子产品不同于机械产品，除了开关和电位器，没有磨损的问题，因此很多二手示波器的性能几乎同新的一样，特别是有些进口的，无论是示波管亮度、寿命，还是整机性能，并不逊色于国产新机。最后，现在的高频的ASO价格要高于DSO，而二手的ASO很便宜，因此对于需要购买高频ASO的用户来说，也许二手是更好的选择。

三 模拟还是数字?

选购示波器要综合考虑自己的经济能力和用途，既要避免浪费又要能胜任自己的工作。

随着电子技术的飞速发展，DSO 价格快速下降，目前已经降到了 ASO 的水平，100MHz 以上的高频示波器还低于 ASO，很多人处于两难境地，不知该选择 ASO 还是 DSO。实际上，ASO 和 DSO 各有千秋，下面比较一下两类示波器的优缺点。

1. 模拟示波器（ASO）的优点

ASO 为我们提供眼见为实的波形，在规定的带宽内可非常放心进行测试。人类五官中眼睛视觉十分灵敏，屏幕波形瞬间微细变化都可感知。因此，模拟示波器深受使用者的欢迎。

（1）ASO 最大的优点在于分辨率高，DSO 的垂直分辨率一般只有 8 位，而 ASO 可以看成无穷大。DSO 的水平分辨率取决于采样速率，而 ASO 也是无穷大。因此 ASO 在扫

描周期内不会丢失带宽范围内的任何信号，而DSO可能会遗漏细节。ASO对信号的测量是连续进行的，屏幕上的显示是当时正在发生的情况，因此，ASO比较适合测量调频、调幅、视频、噪声等信号，比较适合电子产品检测、调整和维修等应用，以及基础实验仪器教育使用。

（2）响应速度快。ASO的显示可以说是实时的，而DSO需要经过采样处理，响应速度自然就慢了。

（3）DSO有采样噪声，不但观察起来不爽，还会影响信号的波形。ASO则没有这个问题。

（4）ASO亮度高。DSO一般用液晶显示器，亮度不高。而ASO的CRT显示器亮度要高得多，不但能适应不同的光线环境，看起来也更舒服。

（5）ASO电路简单，维修方便。特别是目前市场上的ASO一般都有原理图，更加有利于修理。而DSO很少提供图纸。

（6）ASO有灰度等级特性，可以丰富观察内容，而DSO没有灰度等级特性。

2. 模拟示波器（ASO）的缺点

（1）测量低频（低于100Hz）时闪动厉害，低于30Hz时只能看到移动的光点，要根据光点移动的轨迹来推测信号的波形。也不利于单次信号的测量，因为单次信号一闪而过，不能保持在屏幕上。虽然有一种记忆示波器，采用特殊的记忆示波管，可以把波形保存在屏幕上，但是显示效果不如普通示波管。记忆示波器典型的有TEK464、TEK466、HP1741、HP1746。

（2）在释抑时段（形象地说叫逆程或者回扫时段）不能显示波形，如果是非周期性信号，这段时间内的信号将丢失，尽管有些示波器有延时线，可以显示触发前的信号，但是延时线的延时时间有限。

3. 数字示波器（DSO）的优点

（1）体积小、重量轻，便于携带。现在的DSO基本都是液晶显示器，优点可以类比液晶彩电和CRT彩电。

（2）可以长期储存波形，并可以对存储的波形进行放大等多种操作和分析。采用记忆示波管的ASO也可以存储波形，但是持续时间不长，平均也就大约半小时。

（3）特别适合测量单次和低频信号。测量低频时没有ASO的闪烁现象。这对测量瞬间信号很有好处，比如测量压电陶瓷在受到机械力时产生的电压波形。

（4）更多的触发方式，除了ASO不具备的预触发，还有逻辑触发、脉冲宽度触发等。

（5）可以通过GPIB、RS232、USB接口同计算机、打印机、绘图仪连接，可以打印、存档、分析文件。

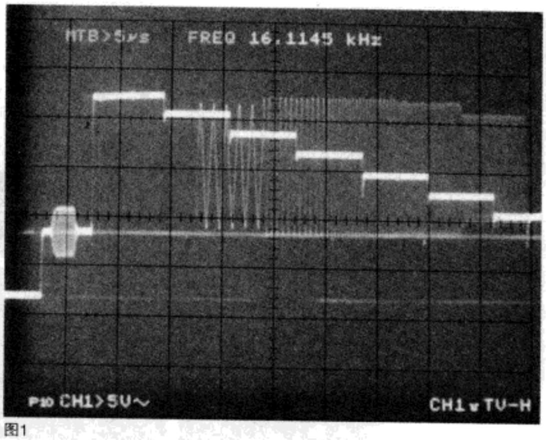


图1

（6）有强大的波形处理能力，能自动测量很多参数。虽然不同厂家和型号提供的功能有所不同，但它们一般包括诸如频率、上升时间、脉冲宽度等的测量。

4. 数字示波器（DSO）的缺点

DSO的缺点也很多。除了上面谈到过的缺点，还有一些其他的缺点。

（1）失真比较大。由于数字示波器是通过对波形采样来显示的，采样点数越少失真越大，通常在水平方向有512个采样点，受到最大采样速率的限制，在最快扫描速度及其附近采样点更少。因此，高速时失真更大。

（2）可能出现假象和混淆波形。当采样时钟频率低于信号频率时，显示出的波形可能不是实际的频率和幅值。数字示波器的带宽与取样率密切相关，取样率不高时需借助内插计算，容易出现混淆波形。虽然有些数字示波器都有所谓自动设置功能，一旦输入信号连好以后，示波器就能自动地设置适当的偏转系数和时基值，这种自动设置功能也能帮助避免假象现象。但是在有些情况下，信号的频率变化得非常快，以至于在某一时刻选定的时基设置是正确的，而在另一时刻(或者对于信号的另一部分而言)示波器又显示出假象的波形。

（3）测量复杂信号能力比较差。由于DSO的采样点数有限以及没有亮度的变化，使得很多波形细节信息无法显示出来，虽然有些DSO可能具有两个或多个亮度层次，但这只是相对意义上的区别，再加上示波器有限的显示分辨率，使它仍然不能重现模拟显示的效果。

就拿最常见的电视信号测试来说，DSO远不如ASO。图1给出了使用模拟示波器显示视频信号的情况。请注意其中丰富的波形细节和亮度变化的情况。图2给出的是在DSO上显示

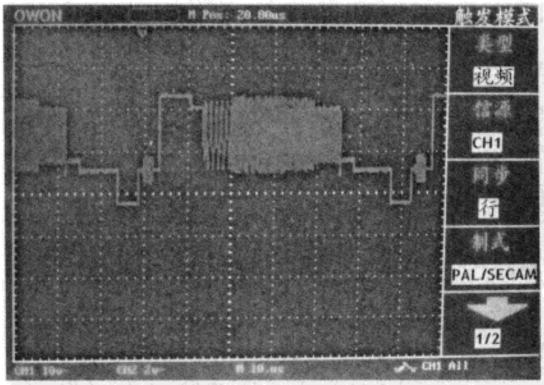


图2

相同信号的情况。

如果想兼顾ASO和DSO的优点，可以选购DPO，典型的如泰克的TDS3000系列、TDS5000系列、DPO系列。DPO能把数字化的波形数据进一步光栅化，存入荧光数据库中，存储到数据库中的信号图像直接送到显示系统。波形数据直接光栅化，以及直接把数据库数据拷贝到显存中，两者共同作用，改变了其他体系在数据处理方面的瓶颈。结果是增加了“使用时间”，增强显示更新能力。信号细节、间断事件和信号的动态特性都能实时采集。DPO微处理器与集成的捕获系统一道并行工作，完成显示管理、自动测量和设备调节控制工作，同时，又不影响示波器的捕获速度。DPO如实地仿真模拟示波器最好的显示属性，并在三维显示信号：时间、幅度和以时间为参变量的幅度变化，三者都是实时的。

对那些需要最好的通用设计和故障检测工具以适合大范围应用的人来说，DPO是一个理想工具。DPO典型应用有：通信模板测试，中断信号的数字调试，重复的数字设计和定时应用。

但是DPO价格昂贵，有一种更经济的选择是使用数字模拟两用示波器，或者叫组合示波器，这种示波器既有ASO的优点又有DSO的优点，它是通过一个开关来选择ASO和DSO的。典型的产品如DSS5020、DSS5040、DSS6121、TEK2232、VC6145、PM3382、HM507等。

综上所述，对于绝大部分人来说，还是应该选择ASO，因为对他们来说，观察100Hz以下低频的概率非常低，即使偶尔观察，也可以通过光点的轨迹来判断；需要用到存储波功能的场合也很少。DSO单单反应速度这一项就让很多人“无法容忍”，而ASO的优点又实在太多。对他们来说，除非DSO的价格远低于ASO，才能使他们加入DSO阵营。

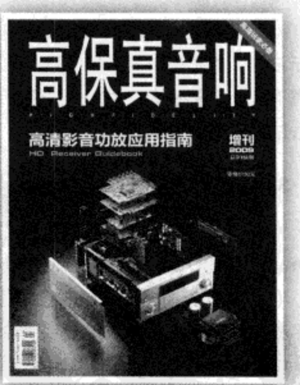
有一个真实的故事很有启发。有一个没用过示波器的人花2200元买了一台HP54501型二手数字示波器，一个偶然的机会，他看到我正在使用V1050F模拟示波器，其丰富的表情让我忍俊不止，就好像刘姥姥进大观园，哥伦布发现新大陆！惊叹于模拟示波器的显示效果，他求我用我的示波器同他的交换，而且以物换物，不要我添一分钱！知道吗？二手的V1050F市场上才900元！

《高保真音响》2009年增刊——《高清影音功放应用指南》

现如今，高清音视频娱乐已经逐渐成为家庭娱乐的主流，面对高品质的音画享受，有谁能够不动心？但面对琳琅满目的各类高清器材，您在选购时是否左右为难？作为家庭影院核心的影音功放，虽然功能庞大，但您真正物尽其用了吗？复杂的家庭影院系统，是否调教起来是否又能够得心应手？关于高清娱乐的种种问题，都将在《高保真音响》2009年增刊——《高清影音功放应用指南》中一一为您解答。

本书是由香港辣椒出版有限公司总编辑周志远先生带领编辑部同仁精心编撰的《高清扩音机应用指南》的简体中文版本。全书分为4个单元，39个章节，分别从技术、选购，音效设定，影像及多媒体应用，进阶功放玩法4个部分详尽而生动地介绍了高清家庭影院功放的各项基本知识，还包括了各种音效格式的区分与应用、THX认证、蓝光影碟、HDMI线材等必备的影音知识及选购技巧。每一个章节除了详尽的文字说明外，还配有实际测试截图，令读者能够身临其境地跟随作者一步步从最基础的影音爱好者进阶为资深影音发烧友，感受高清音视频娱乐带来的前所未有的视听震撼。

无论您是关注高清影音娱乐的发烧初哥，还是刚刚组建自己家庭影院系统的用户，更或者是影音高烧友，都能够从本书中找到适合自己的影音知识。



开本与印制：大16开/105g铜版纸/全彩/128页
定价：30元（全国各大新华书店有售）
邮购电话：010-67134361

本书亮点：
全面翔实的影音基础知识介绍。
深入浅出的高清影音功放应用、选购指南。
直观贴切的操作设置演示。
进阶实用的后期调校操作指导。

自制USB接口温度记录仪

◎孙红生　蔡文著

常用的室温温度计、体温计都有一个共同的特点：就是只能显示即时的温度，不能记录温度变化的过程，除非由操作人员定时查看并记录。如果要自动记录温度变化的过程需要专门的温度记录仪，一般价格不菲。微型计算机的普及为温度记录工作打开了一扇新的窗户，这里介绍一个笔者制作的温度记录仪，自制价格低于100元，它体积不大，可以随身携带，有计算机的地方随时可以记录温度的变化，该温度记录仪既可用于日常生活中，如记录病人体温的变化，也可用于科研生产活动中，探头经过适当的封装完全可以用于化学实验过程中温度变化的记录，图1是温度记录仪运行时的情况。

一 性能指标

采样通道：1

温度测量范围：-55℃～+125℃

精度：在-10℃～+85℃范围内,精度为±0.5℃

记录点数：5000

采样周期：2秒、4秒、5秒、10秒、15秒、30秒、60秒和300秒8挡可调，记录时间最短约3小时，最长约17天。

二 电路原理

电原理图如图2所示，电路比较简单，测温元件采用了最常见的单总线温度传感器DS18B20。DS18B20支持“单总线”接口，测量温度范围为-55℃～+125℃，在-10℃～+85℃范围内,精度为±0.5℃。现场温度直接以“单总线”的数字方式传输，大大提高了系统的抗干扰性。它适合于恶劣环境的现场温度测量，如环境控制、设备或过程控制、测温类消费电子产品等。与前一代产品不同，新的产品支持3～5.5V 的电压范围，使系统设计更灵活、方便。而且新一代产品更便宜，体积更小。DS18B20的相关指令见表1、表2，具体的使用方法可以参见元件手册。电路核心是一片来自MICROCHIP的USB单片机PIC18F2550，PIC18F2550是一款采用纳瓦技术的28引脚高性能增强型闪存USB单片机，拥有32KB闪存，2KB RAM，256字节EEPROM, 3个外部中断，4 个定时器模块（Timer0 到Timer3），2 个捕捉/ 比较/PWM （CCP）模块，其USB接口兼容USB V2.0，支持低速（1.5 Mbit/s）和全速（12 Mbit/s）数据传输，支持控制、中断、等时和批量数据传输模式。DS18B20共有三条引线，分别是电源线、数据线和地线，其中数据线接PIC18F2550的BO脚，PIC18F2550通过软件模拟单总线时序，由于只有一片DS18B20，所以仅模拟了读ROM、跳过ROM、温度变换和读暂存器四条指令。单片机与晶体等周边元件构成了USB单片机最小系统。

表1 ROM指令表

指 令	约定代码	功 能
读ROM	33H	读DS1820温度传感器ROM中的编码（即64位地址）。
符合ROM	55H	发出此命令之后，接着发出64位ROM编码，访问单总线上与该编码相对应的DS1820使之作出响应，为下一步对该 DS1820的读写作准备。
搜索ROM	FOH	用于确定挂接在同一总线上DS1820的个数和识别64位 ROM 地址。为操作各器件作好准备。
跳过ROM	CCH	忽略64位ROM 地址，直接向DS1820发温度变换命令，适用于单片工作。
告警搜索命令	ECH	执行后只有温度超过设定值上限或下限的片子才做出响应。

表2 RAM指令

指 令	约定代码	功 能
温度变换	44H	启动DS1820进行温度转换，12位转换时最长为750ms（9位为93.75ms）。结果存入内部9字节RAM中。
读暂存器	BEH	读内部RAM中9字节的内容。
写暂存器	4EH	发出向内部RAM的3、4字节写上、下限温度数据命令，紧跟该命令之后，是传送两字节的数据。
复制暂存器	48H	将RAM中第3、4字节的内容复制到EEPROM中。
重调EEPROM	B8H	将EEPROM中内容恢复到RAM中的第3、4字节。
读供电方式	B4H	

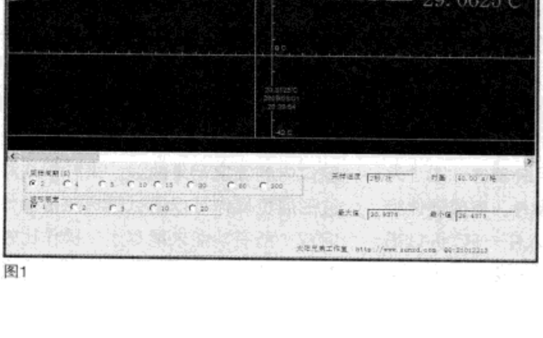


图1

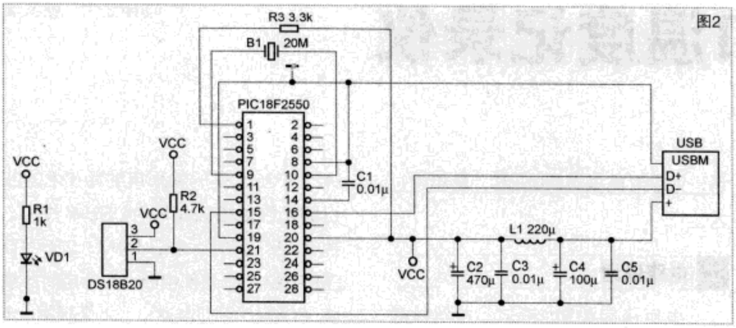


图2

三 软件编程

温度记录仪的单片机软件采用PICC编写，其中有关单总线时序的代码如下：

```
BYTE touch_read_byte() {
  BYTE i,data;

  for(i=1;i<=8;++i) {
   output_low(TOUCH_PIN);
   delay_us(14);
   output_float(TOUCH_PIN);
   delay_us(5);
   shift_right(&data,1,input(TOUCH_PIN));
   delay_us(100);
  }
  return(data);
}

BYTE touch_write_byte(BYTE data) {
  BYTE i;
  for(i=1;i<=8;++i) {
   output_low(TOUCH_PIN);
   delay_us(10);
   if(shift_right(&data,1,0)) {
    output_high(TOUCH_PIN);
    delay_us(10);
          if(!input_state(TOUCH_PIN))
     return(0);
   } else {
    output_low(TOUCH_PIN);
    delay_us(10);
          if(input_state(TOUCH_PIN))
      return(0);
   }
   delay_us(50);
   output_high(TOUCH_PIN);
   delay_us(50);
  }
  return(TRUE);
}
```

这两个函数分别实现了从单总线器件读一字节数据和写一字节数据的功能，有了这两个函数后就可以编写DS18B20的程序了：

```
touch_write_byte(0x33); //读ROM命令
touch_write_byte(0xCC); //跳过ROM命令
touch_write_byte(0x44); //温度转换
output_float(TOUCH_PIN); //拉高数据脚电平
delay_ms(1000);
touch_write_byte(0xCC); //跳过ROM命令
touch_write_byte(0xBE); //读RAM命令
//读RAM的前两字节，其中保存了温度值
out_data[0] = touch_read_byte();
out_data[1] = touch_read_byte();
PC机上面的程序采用VC6.0编写，其中温度若为零上转换公式为：
(out_data[0]+ out_data[1]*256) * 0.0625
温度若为零下转换公式为：
out_data[0]+( out_data[1]-0xf8)* 256-2048) * 0.0625
```

四 制作调试

由于电路比较简单，单面PCB即可胜任。首先需要将单片机程序烧写进单片机，可以使用任何支持PIC编程的编程器完成烧写工作。然后将PC机程序复制到PC机硬盘中，PC机程序是一个绿色软件，可以复制到PC机的任一目录下。下一步组装硬件，图3为单面PCB布线图供参考。完成硬件组装后将温度记录仪插入任一PC机USB口，温度记录仪的USB接口部分使用

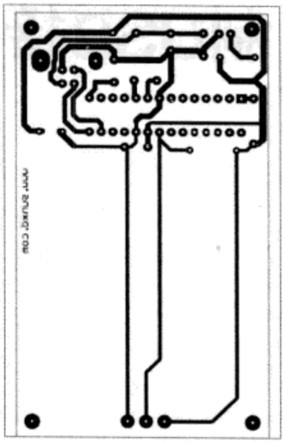


图3

了HID协议，因此将温度记录仪接入PC机后无需安装任何驱动程序，系统会发现一名为www.sunxd.com的设备并自动安装相应的设备驱动程序，运行PC机软件即可看到即时的温度和温度记录曲线。

五 操作指南

针对不同的测量对象可能要对温度传感器进行适当的封装，特别是化学实验的温度过程记录需要特殊的封装，可以通过将温度传感器装入一个小玻璃试管再放入介质中测量温度。网上有现成的各类封装的DS18B20出售，可以选购适当封装的DS18B20使用。PC机软件主要提供了即时温度显示、最大、最小值显示和温度变化曲线记录功能，当鼠标在程序窗口内移动时程序会给出对应点的温度记录和时间点。同时程序还提供了历史数据保存和再现功能，可以再现过去某一时刻的记录曲线，当打开历史数据时移动鼠标给出的是历史数据的温度和时刻，可以通过菜单关闭历史数据的显示。程序的打印功能可以打印当前窗口内的温度记录曲线。采样周期和波形展宽操作可以通过鼠标点击操作完成。所有功能未能尽述，操作比较简单，略加摸索即可上手。

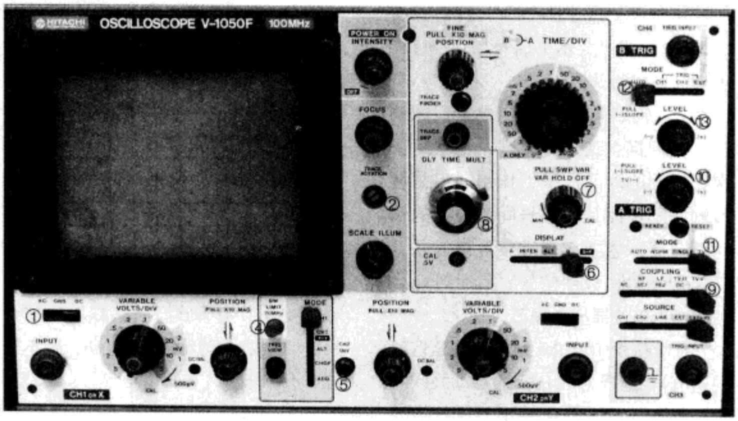
从零起步用示波器

◎王军

初次使用示波器的人，往往把示波器看得过于复杂，甚至恐惧。还有人认为使用示波器没有万用表来得简单快捷，其实这是一个误区。示波器其实很简单，示波器测试的信号波形，简单看只有两个最基本的量，一个是电压或者电流幅值，用示波管垂直方向光点的位移来表示；一个是时间，用示波管水平方向光点的位移来表示。不管是什么电器，都是由一些基础单元电路组成的，其中的基础单元电路对信号的响应规律是相似的；同一类别的电器的类似基础单元电路的波形也是类似的，我们在实际使用中只要不断地总结积累，就会对各种电路的波形了如指掌，示波器使用起来也会得心应手。电器的电路越来越复杂，我们会越来越发现没有示波器很难进行工作。

无论什么示波器，使用方法都差不多。加入信号后调垂直灵敏度，使信号占5格左右，幅度太小不容易同步。然后调扫描时间和触发电平，显示3～5个周期比较好。探头接地线要接到被测设备上，把夹子夹到被测设备地线上。有些人为了方便，把探头的地线换成长的，如果测量低频，影响并不大，但是高频影响就大了，频率越高影响越大。地线是探头感性负载的一部分，地线越长，电感越大，不但对高频信号有衰减，还会在被观察信号中出现振铃。振铃源是由探头输入分布电容、地线电感及探头触针电感构成的LC电路。

要想娴熟地使用示波器，需要了解更多的使用方法和技巧，为了提供更多的感性认识，本文结合一款示波器做实例介绍，而且选择了典型的一款日立V1050F双踪100MHz示波器，其面板见附图。



一 各主要按钮的功能和操作如下

1. AC-GND-DC（交流 - 接地 - 直流）：信号耦合方式开关，在接地时，放大器输入端被接地，同时输入插口的连接被断开。在 AC 时，通过一个电容隔离输入端的直流分量，使屏幕上显示的波形的位置不受直流电平的影响。我们在大部分情况下都用 AC 耦合，但是如果信号的频率比较低或者需要观察直流分量，那就要用 DC 耦合。

2. TRACE ROTATION（水平线旋转控制）：调整此旋钮可以使光迹和坐标水平线平行。移动机器后，由于地球磁场的影响，一般都要调整此电位器。

3. MODE（垂直工作方式选择）：屏幕显示依次为 CH1、CH2、CH1 和 CH2 交替、CH1 和 CH2 断续、CH1 和 CH2 代数和等方式。一般平时大多用单踪，就是放在 CH1 或者 CH2，用到其他方式的机会不多。交替工作方式，就是把两个输入信号轮流地显示在屏幕上。这种显示只适用于扫描速度较快的时候，不适宜观测频率较低的信号，因为速度低时闪动厉害，不利于观察。断续工作方式，就是用一个频率固定的方波，把一次扫描分成若干段，第一段显示 CH1 的信号，第二段显示 CH2 的信号，如此轮流显示，直到一次扫描完成。由于断续转换频率相对于被测信号高得多，显示的每小段靠得很近，人眼看起来仍然是连续的波形，与交替显示方式刚好相反，这种方式不适宜观测较高频率的信号。

4. BW LIMIT：按下时带宽变成20MHz，可以防止高频干扰，减小噪声。

5. CH2.INV：按下后输入信号倒相180°，方便比较极性不同的输入信号。也可以方便地用于比较两个信号的幅度，比如，在 ADD 模式，倒相后可以显示两个极性相同的信号的幅度差别。

6. DISPLAY：水平显示方式。A：显示A扫描，INTEN（加亮）：延时扫描B扫描部分以加亮的形式出现在A扫描上，ALT（交替）：A扫描和B扫描交替出现在屏幕上，B：在加亮模式下被加亮的延时扫描放大到整个屏幕，这时扫描时间变成了B，X-Y：此时机器成为X-Y显示器，水平信号加到CH1，垂直信号加到CH2。

7. VAR HOLD OFF（释抑时间调节）：扫描"逆程"时间，也就是每次扫描间的时间间隔，作用是电平调节触发同步后，使信号同步稳定的辅助调节器，主要用来观察复杂信号、不规则信号、数字信号。有时可能必须同电平电位器反复调节。

8. DELAYTIME MULT（扫描延迟时间调节）：选择A和B扫描启动之间的延迟时间。其实是用来调节B扫描开始的时间，比如，在观察全电视信号时，可以调节到色同步信号的起始端，这样可以用B扫描来观察色同步信号。

9. COUPLING（触发耦合开关）：决定扫描触发源的耦合方式。AC为交流耦合，最常用的方法，触发电平不会因为Y轴移位的改变而改变，DC为直流耦合，有利于低频信号的同步；TV-H TV-V为电视场/行同步耦合，在观察视频信号时更容易同步在行/场扫描上，HF REJ为高频抑制，LF REJ为低频抑制。

10. A TRIG LEVEL（A触发电平）：触发电平调节电位器，它决定着扫描从哪个电平开始扫描，不但可以使波形稳定，还可以针对复杂波形，调节到想要观察的波形上。本旋钮同时又兼触发极性调节功能，正常时为正极性触发，拉出时为负极性触发。

11. A TRIG MODE（A触发扫描方式）：AUTO为自动，在没有输入信号时也有扫描线，调节触发电平电位器可使波形同步；NORM为常态触发，在没有触发信号时没有扫描线，只有在有触发信号时才有扫描线。SINGLE为单扫描触发。READY：在单次时，在等待触发时灯亮，扫描开始后熄灭。TV：用来观察视频信号，此时，耦合方式要放在TV-V或者TV-H。我们平时一般用自动扫描方式，但是在频率低于50Hz时用常态触发方式更容易调节同步。

12. B TRIG MODE（B触发方式）。AUTO：B扫描在A扫描开始扫描并经过延时时间设定的时间后自动开始扫描，TRIG CH1,CH2：可以独立于A扫描的触发源自行选择用CH1的信号触发还是CH2的信号触发。在此状态，B扫描只有加入触发信号才开始扫描。

13. B TRIG LEVEL:调节B扫描的触发电平。并兼B扫描的触发极性开关。但是如果B扫描选择自动，则本电位器不起作用。

二 示波器的使用技巧

为了防止缩短荧光屏寿命，亮度（INTENSITY）不要太高，特别是在屏幕上是亮点而不是扫描线时，比如在X-Y状态。在长时间不测量时，要关掉机器，因为没有信号输入时，扫描线在固定位置长时间停留容易损伤荧光屏。我们经常看到有的示波器荧光屏中间有一道暗线，那就是烧伤的。

亮度调好后再调聚焦(FOCUS)，因为调节亮度会对聚焦有影响。如果聚焦调不到最佳状态，可以打开外壳，调节机内的辅助聚焦调节电位器（ASTIG）。

当输入信号是市电频率或者是市电频率的整数倍时，触发源（SOURCE）用LINE方式更利于同步，比如观察交流噪声、直流稳压电源的纹波。

如果要观察的信号直流分量比较大，频率又很低，如果把输入耦合放到AC，会使信号衰减和变形，而如果放到DC，又会超出屏幕范围。这时可以把输入耦合放到DC，同时在探头上串一个容量比较大的电容来测量。

示波器一般带有带转换开关的10:1和1:1两用探头。1:1时一般只适用测量7MHz以下的信号，因为电缆本身的输入电容比较大。而在10:1衰减时，可以有效地将电缆的分布电容隔离，同时还可以把仪器的输入阻抗从1MΩ提高到10MΩ。对于测量高阻抗电路很有优势，比如，在晶振端直接测量晶体振荡信号。在许多场合，用1:1测量可能会导致晶体振荡器停振。不过，10:1时输入信号也受到了衰减，降低了仪器的灵敏度，在读取电压幅值时要把衰减考虑进去。

在测量热底板机器时，要用隔离变压器，否则通过地线会使被测电路短路，烧坏被测设备。如果没有隔离变压器又不得不去测量时，要把示波器的电源插头变成两线的，也就是把插头的地线去掉，只要火线和零线。在测量时，示波器的外壳，探头的地线都会带电，有触电的危险，要特别小心。在测量时，示波器信号输入要选择AC耦合，而且要用10:1探头。

在测量时输入信号的峰值不能超过示波器的最高输入电压，否则会损坏示波器，一般的示波器都不超过300V（直流加交流峰值），用10:1探头时不超过800V。尽管示波器输入端有保护二极管，但是保护作用有限，承受不了大电流的高电压。

使用数字示波器需要更多的技巧，观察单次信号选用实时采样方式，观察高频周期性信号可以选用等效采样方式。希望观察信号的包络避免混淆，选用峰值检测方式。期望减少所显示信号中的随机噪声，选用平均采样方式，平均值的次数可以选择。观察低频信号，选择滚动模式方式。希望显示波形接近模拟示波器效果，选用模拟获取方式。

毛刺/脉宽触发一般有两种典型应用场合，一是同步电路行为，如利用

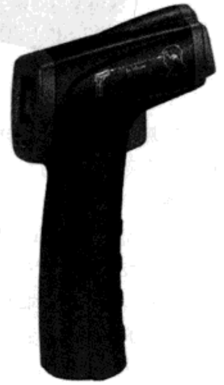
测试展台

无线你的测试 福禄克233远程显示万用表

福禄克公司推出了一款采用可拆卸的无线显示器的万用表——Fluke 233，这是业界首个配备分离式显示屏的数字万用表。该产品让用户可以极其灵活地处理那些不同寻常的测量情形。其显示屏设计为可拆卸的，通过2.4GHz ISM频段的无线收发装置，实现测量和显示的分离，使用时只需把万用表放在任何一个方便的地方（离测量点10米以内），而不必为了伸入狭窄的场所而不断地挪动梯子和万用表。这样，用户就可以在难以接近的地方进行测量。在这些地方，机器或控制面板与限位或隔离开关不在同一地点，或者处于禁止用户进入的区域，例如无尘室或危险区域。

优利德非接触式 红外体温计——UT300E

优利德公司最新测人体额头体温计UT300E全面上市，该体温计通过测量人体额头表面温度，根据额温与体温的关系间接测量体温，只需将探测窗口对准额头位置，便可快速、准确地测量。体表温度测试范围为0℃～60℃，测量精度为±0.5℃。其应用领域包括：非接触式测温，快速准确特别适合人流量大的公共场所如港口、机场、车站、码头、机关、学校、出入境口岸、影院、宾馆、写字楼等，可进行发热症状筛选，也适合家庭使用。**（资料室）**



它来同步串行信号，或对于干扰非常严重的应用，无法用边沿触发正确同步信号，脉宽触发就是一个选择，另一是用来发现信号中的异常现象，如因干扰或竞争引起的窄毛刺，由于该异常是偶发显现，必须用毛刺触发来捕获（另一种方法是峰值检测方式，但峰值检测的方法有可能受其最大采样率的限制，同时，一般是能看，不能测）。

如果示波器扫描速度设置不当，可能会产生混叠现象，混迭就是屏幕显示的频率低于实际的频率。有如下几种方法可以简单地防止混迭发生：

◆ 调整扫速，把扫描速度逐渐调高，使晃动的波形在某个较快的时基挡稳定下来；

◆ 采用自动设置（Autoset）；

◆ 试着将收集方式切换到包络方式或峰值检测方式，因为包络方式是在多个收集记录中寻找极值，而峰值检测方式则是在单个收集记录中寻找最大、最小值，这两种方法都能检测到较快的信号变化。

◆ 如果示波器有InstaVu采集方式，可以选用，因为这种方式采集波形速度快，用这种方法显示的波形类似于用模拟示波器显示的波形。

综上所述，使用数字示波器时，为了避免混迭，扫速挡最好置于扫速较快的位置。如果想要捕捉到瞬息即逝的毛刺，扫速挡则最好置于主扫速较慢的位置。

由于数字示波器的分辨率有限，因此，为了提高被测波形的垂直分辨率，要尽可能使波形在垂直方向上占满屏幕。为了提高水平分辨率，在水平方向上尽可能用较快的扫描速度，显示较少的周期。

使用示波器，关键在于自己积累经验，熟能生巧，不能死搬硬套别人的说法。比如，有很多人问过我测试方波时为什么没有竖线？这往往来源于对教科书或者说明书的误解。他们在书本上看到的方波是有竖线的，而且竖线和横线一样粗。其实，理想的方波是没有竖线的。因为扫描是水平方向的，理想的方波是在扫描到某一点时立刻调到上面继续扫描，接着又立刻跳到下面继续扫描，如此循环。在上下跳动的瞬间是没有停留时间的，因此就没有竖线。只有上升、下降时间不为零的时候才会有竖线。而且上升、下降速度越慢竖线越亮，但是永远没有横线亮。

还有人问我，测数字信号是不是要用数字示波器？看完本文，答案自然就有了——ASO和DSO只是指信号的处理方法，ASO可以测量数字信号，DSO也可以测量模拟信号。

实测 伊万多功能示波检测仪 ET521A

◎魏坤

非常荣幸收到《无线电》杂志社寄来的ET521A多功能示波检测仪，经过一段时间的试用，将我的试用情况与大家分享一下。

ET521A多功能测试仪是将示波器、万用表、信号发生器等多项功能结合在一起的一种复合型现场测试工具，使用3.8英寸320×240分辨率的单色LCD作为显示器，显示效果比较细腻，整机尺寸约为205mm×138mm×54mm 重量约为850克。外壳底面采用二次注塑，手感较为舒适并能起到防滑作用，里面暗藏有备用保险管，外壳侧面装有手提带，既方便携带又可作为单手操作防跌落护带。液晶显示器外面透明防护境，采用加硬工艺处理，防止携带或使用中镜面磨花,可见厂家还是考虑得很周到。多种功能集于一身为电子爱好者和电器维修人员的使用带来了方便。

我比较感兴趣的是它的示波功能、频率计功能以及电容电感的测试功能，所以我也就这几个功能作了比较详细的使用和测试，图1是这次测试所使用的仪器。

示波器功能

我对示波器比较有兴趣，出于爱好自己也在做手持示波器，所以对示波器功能作了较详细的测试，ET521A标称的模拟带宽为25MHz，测试所使用的信号发生器为Agilent 33250A型80MHz任意波形信号发生器，作为对比使用的示波器为Agilent 54641D型混合数字示波器采样率为2Gsps，模拟带宽为350MHz，所使用的探头为泰克P2200型探头。

图2～图25所示的为测试不同信号时与Agilent 54641D示波器的实际对比图，信号幅度均为2Vrms。由于ET521A的示波器功能扫速不是标准的1-2-5步进，而是1-2.5-5步进，所以在一些对比照片中显示的波形疏密不同是因为两个示波器扫

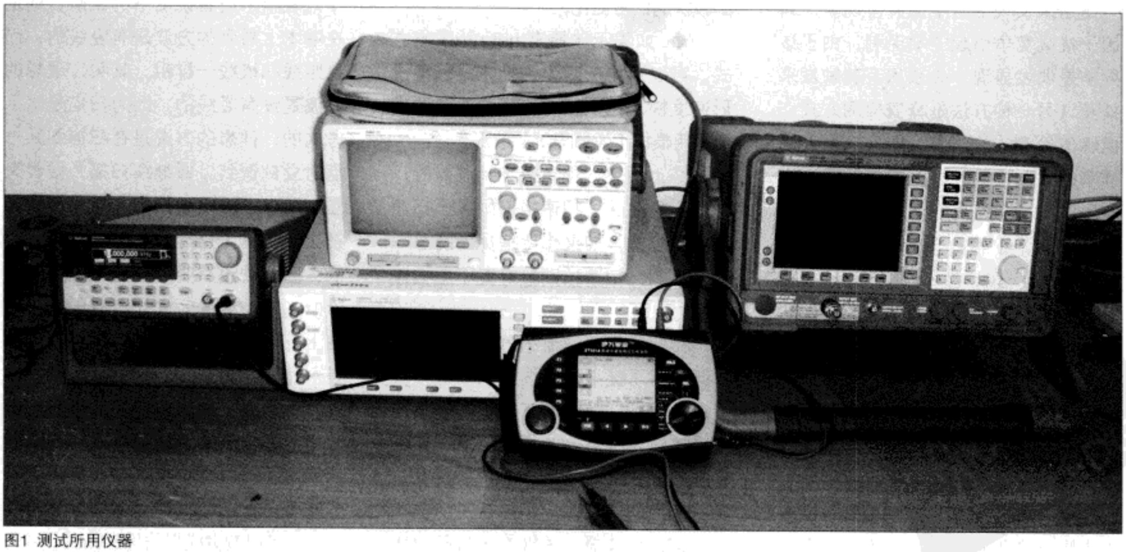


图1 测试所用仪器

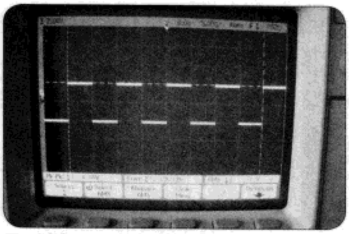


图2 测试100Hz方波（Agilent）

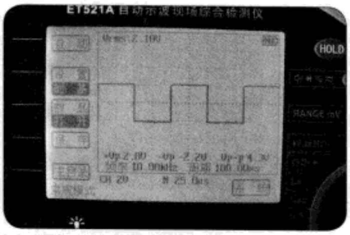


图7 测试10kHz方波（ET521A）

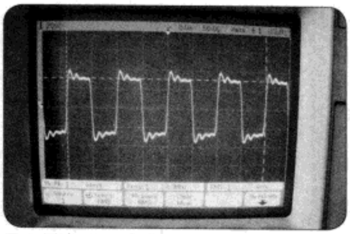


图12 测试10MHz方波（Agilent）

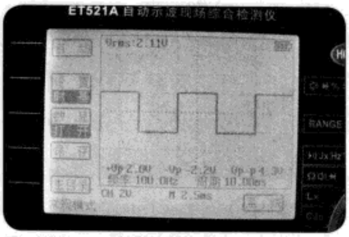


图3 测试100Hz方波（ET521A）

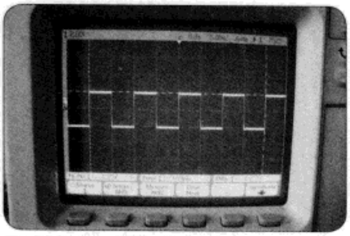


图8 测试100kHz方波（Agilent）

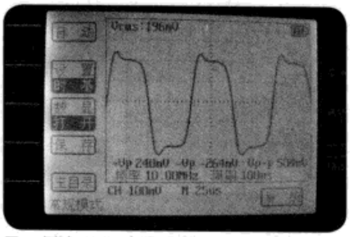


图13 测试10MHz方波（ET521A）

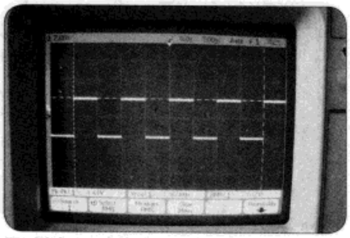


图4 测试1kHz方波（Agilent）

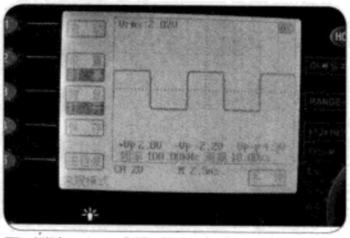


图9 测试100kHz方波（ET521A）

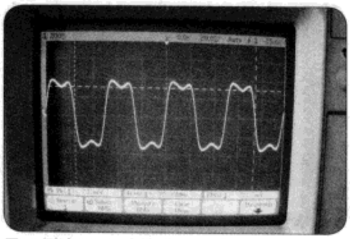


图14 测试20MHz方波（Agilent）

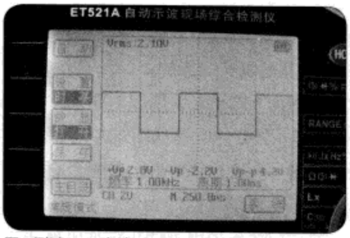


图5 测试1kHz方波（ET521A）

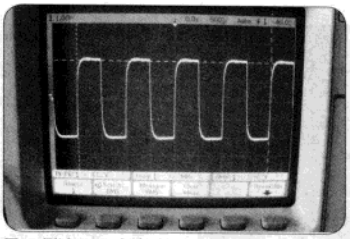


图10 测试1MHz方波（Agilent）

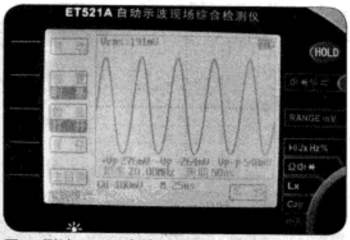


图15 测试20MHz方波（ET521A）

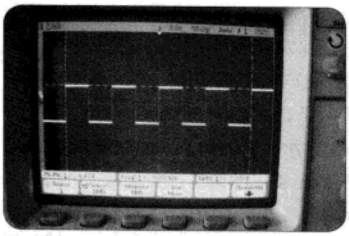


图6 测试10kHz方波（Agilent）

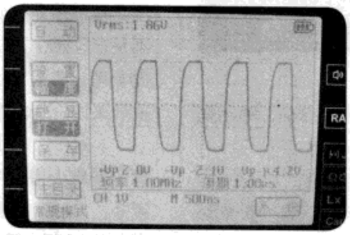


图11 测试1MHz方波（ET521A）

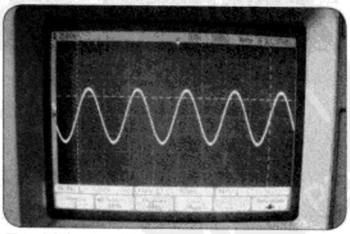


图16 测试1kHz正弦波（Agilent）

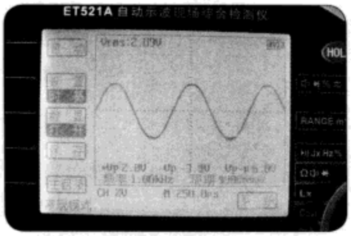


图17 测试1kHz正弦波（ET521A）

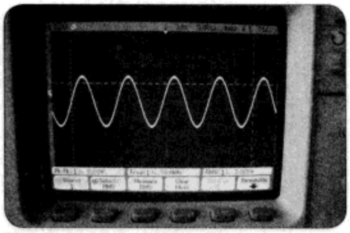


图18 测试100kHz正弦波（Agilent）

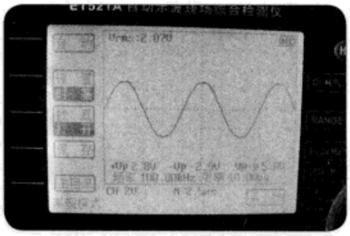


图19 测试100kHz正弦波（ET521A）

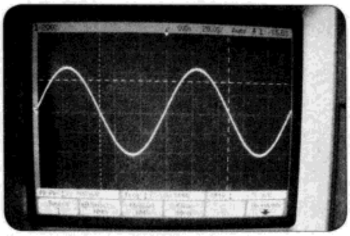


图 20 测试 10MHz 正弦波（Agilent）

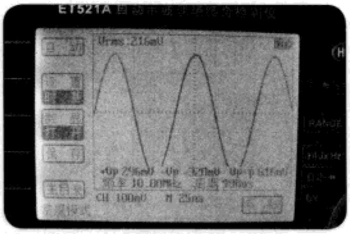


图 21 测试 10MHz 正弦波（ET521A）

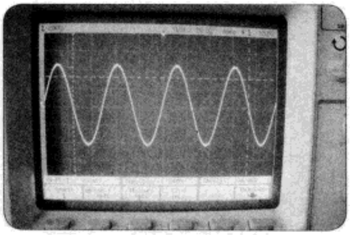


图 22 测试 20MHz 正弦波(Agilent)

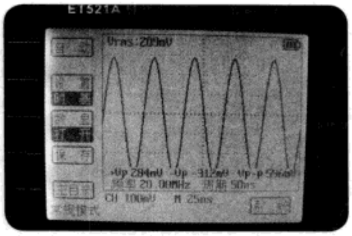


图 23 测试 20MHz 正弦波（ET521A）

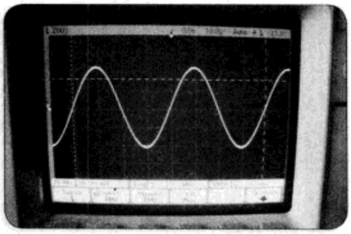


图 24 测试 25MHz 正弦波(Agilent)

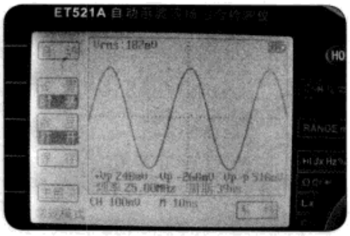


图 25 测试 25MHz 正弦波（ET521A）

表1 实测幅度对照表

信号频率及波形	54641D 幅度读数(rms)	ET521幅度读数(rms)
100Hz方波	2.049V	2.07V
1kHz方波	2.047V	2.10V
10kHz方波	2.038V	2.10V
100kHz方波	2.038V	2.07V
1MHz方波	1.973V	1.86V
10MHz方波	287.4mV(10倍衰减)	196mV(10倍衰减)
20MHz方波	291.7mv(10 倍衰减)	191mV(10倍衰减)
1kHz正弦波	2.043V	2.09V
100kHz正弦波	2.028V	2.07V
10MHz正弦波	305.7mV(10倍衰减)	216mV(10倍衰减)
20MHz正弦波	308.3 mV(10倍衰减)	209mV(10倍衰减)
25MHz正弦波	306.3 mV(10倍衰减)	182mV(10倍衰减)

速不同导致的。

测试幅度数据见表1（信号源：Agilent 33250A，输出幅度为固定的2V有效值）。

从图中可以看出，ET521A的表现还是不错的，25MHz的标称带宽测试10MHz的方波还能看出形状已属不易，大家都知道方波是由正弦基波和各次谐波构成的，10MHz的方波其正弦基波的频率为10MHz，各次谐波依次为10MHz的整数倍数20MHz、30MHz、40MHz……所以单从测试10MHz方波这张波形图可看出25MHz的带宽是真实可靠的。

ET521A的标称采样率为100Ms/s，所以对于25MHz的信号在每个周期上可以采集4个点，但是从图25中可以看出x轴上大约有250个点，只显示了2.5个周期，扫速最高达到10ns，而对于100Ms/s采样率来说只能做到250ns的最高扫速，所以我推断ET521A的高扫速是采用类似正弦插值算法或等效采样得到的，若是通过正弦插值算法得到的那么对于还原正弦信号是比较理想的，而对于其他非正弦信号的还原就不是很理想，所以在250ns以上扫速所看到的波形只能作为定性参考。若是通过等效采样实现的高扫速，对于重复信号的重现来说没有问题，但对于非重复信号就无能为力了。

对于ET521A的示波功能有一点我不太满意就是它的屏幕刷新率太慢，能明显看出波形图像在一个画面一个画面地跳动，目测屏幕的刷新率不高于5帧每秒，这对于测试一些变化比较快的信号来说就有些力不从心了，希望厂家在后续的产品中能重视这个问题，对此做出相应的改进。

制作一个简易宽频DDS信号源

◎卫小鲁（BH7PCK）

一 前言

搞无线电，离不了信号源。无论是爱好者自己打造音频设备，还是调试高频设备，低频信号发生器和高频信号发生器都是少不了的。过去没有条件，只好因陋就简，做一些点频信号发生器之类的仪器对付一下，现在条件好了，不少人通过购置二手设备或崭新设备，也有了自己的全套家当以至实验室，不过对于总是琢磨着DIY一切的爱好者，要自己打造一台宽频信号源也不困难。下面就介绍一个用AVR单片机ATmega8（以下简称M8）控制的DDS（直接数字合成）信号源，它的核心部件就是DDS芯片。用那么几小块电路板，几片集成电路，不用任何调谐元件，就可以不费什么大力地自行组装一个宽频率范围的信号发生器，并且体积小巧，使用简单。要在十年以前，这只可能是个美好的愿望！可是今天，有了单片机，看似复杂的问题轻易就能得到解决，欲知底细，就请慢慢往下看吧。

二 制作目标

采用廉价高效的AVR单片机M8控制DDS芯片,制作一个输出频率从1Hz到10MHz的信号源，输出幅度基本稳定在$2V_{pp}$，波形可选择为正弦波或三角波。使用一个4×4矩阵小键盘和液晶字符显示器1602来实现人-机接口，具有输入和修改频率值、选取波形、增减幅度等必须的控制功能，整个小仪器采用万用板模块结构，由键盘和LCD模块，单片机模块，DDS模块互相插接构成，照片见图3。

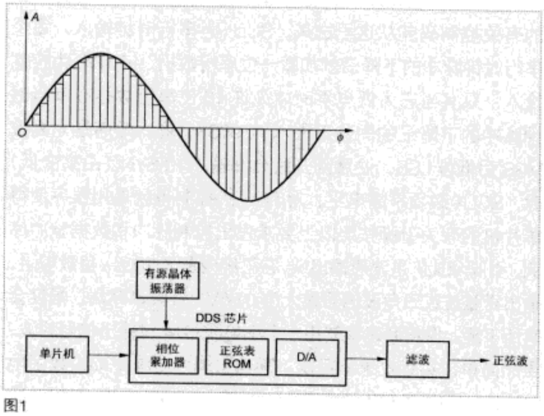


图1

三 工作原理

简单来说，传统的LC振荡器加上电源就可以凭空制造出正弦波来，而DDS信号源则是根据已经存放在ROM中的一幅正弦波“标准像”按照相位角取出幅度值，再还原成正弦波。请看图1。上面是一个完整的正弦波。水平轴表示相位角ϕ，垂直轴表示幅度A。现在水平方向均分为40等分。对应着40个垂直幅度。以相角对应地址，把幅度值顺序保存在只读存储器ROM中。这时只要按时间顺序读出相位角对应的幅度数值，再经过数字/模拟转换D/A，就可以恢复ROM保存的阶梯波形，经过滤波以后就可以得到正弦波了。假定对于这个仅仅存放了40个数据的波形ROM，外部通过一个1MHz的参考时钟控制，每1μs读出一次幅度值，如果一点不漏顺序读出，需要40μs读完一个正弦波的全部数据，然后从头开始循环。于是这样就可以得到周期为40μs的包络线为正弦波的阶梯波：那频率就是25kHz。对这个阶梯波加以滤波，只保留基波，滤除高次谐波，就可以得到25kHz的正弦波了。如果隔一点读取一次，那么20μs就可以读完整个波形幅度数据，得到的阶梯波频率增加一倍为50kHz，当然取样点也只有20点了。可见取样点越少，读出的波形频率越高，可是取样点越少，阶梯就越粗糙，但是通过滤波仍然可以得到正弦波。按照奈奎斯特取样定理，取样点最少不能少于每取样周期2个点，因此理论上这个办法可以得到25kHz到500kHz的正弦波。

为了得到更宽的频率范围，一是要提高读数频率，二是

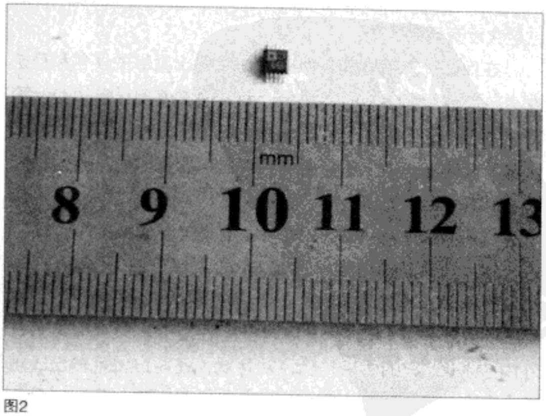


图2

要减小相位角步距，也就是增多取样点数。例如本制作所用的 DDS 芯片的取样参考频率是 25MHz，取样点数达到 2^{28} 也就是 268435456 点之多，如果以此参考频率逐点读出一个完整的正弦波全部数据，需要 2684354546/25=10737418.24μs（约 10.73s），换句话说也就是达到 0.1Hz 的低频率！其实并不是需要如此低的频率，而是通过它反映出可以得到很高的频率分辨率。

实际应用中是采用DDS芯片来完成读取正弦表ROM以及D/A的功能，所需参考时钟和输出端的滤波器由外部提供，在DDS芯片中，有一个“相位累加器”在其中，把读取ROM地址的“步距”相加，依次得到读取正弦幅值的地址。改变步距就改变了输出正弦波的频率。显然，步距M、外部参考时钟周期T_{CLOCK}和输出正弦波的周期T_{OUT}的关系是：

$T_{OUT}=(2^{28}/M)\times T_{CLOCK}$，

用输出频率和时钟频率来表示就是：

$f_{out}=(M/2^{28})\times f_{clock}$

这个步距M实用值，最小是 1，最大是 $2^{28}/2$，通常由单片机或电脑计算给出，称为“频率控制字”。由上式可见，当外部参考时钟频率 f_{clock} 固定时，DDS 的输出频率仅仅由频率控制字 M 确定，改变 M 就改变输出频率。于是完整的系统方块图如图 1 下部所示：单片机按要求计算出频率控制字，一旦把它输出到 DDS 芯片，立即可以得到对应频率的正弦波，当然芯片内部的 D/A 也具备能够进行同样的快速转换的性能。

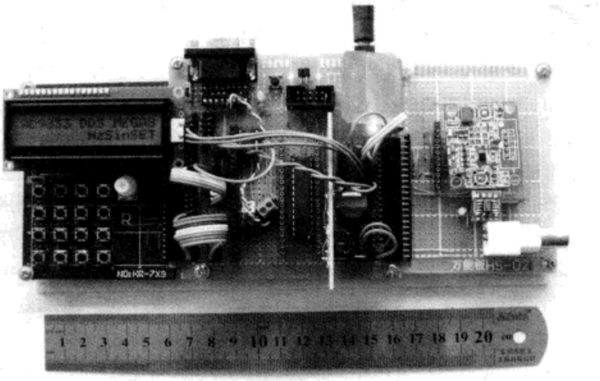


图3

除了频率可变，正弦波的相位也可以通过编程改变，不过这次没有用到。

在保证计算精度的条件下，DDS 输出频率的误差和稳定性，完全由外部参考时钟决定。而它通常使用误差很小、稳定性很高的石英晶体，尽管输出频率范围很宽，误差却很小，稳定度也很高，由于不需要高精度的电容和电感，大大地降低了制作难度。

目前大家所常用的DDS芯片主要是美国模拟器件公司AD的产品，其最高输出频率从12.5MHz到500MHz不等，共有20多种型号，不过高端的片子价格较贵，也不容易买到。本制作使用的是AD9833，它属于低功耗型的，最高输出频率为12.5MHz，它的优点是除了功耗低，还能方便地输出三角波，价格中等（我在淘宝网上买的带电路板要40元，比单片机还是贵些），实物照片见图2，只不过绿豆大小的东西却能完成如此快速复杂的功能。以后再介绍一款更加便宜、频率更高、编程更加简单的AD9850的制作（不过它没有三角波功能）。为了实现以上的基本原理，我们就得把键盘、LCD、单片机、DDS几样东西结合起来，通过程序让他们协同有序地运作，具体电路请见图4。小键盘的数字键0～9用来输入或修改所需频率（最大9999999）赫兹数，功能键实现波形选择，启动、停止以及幅度微调功能，LCD的上行显示提示信息，下行显示频率，波形，启停信息。IC1为单片机M8，它接受键盘操作，控制LCD1602的显示，计算出频率控制字并输出相应的数据脉冲和控制脉冲给DDS芯片IC2 AD9833，实现输出或停止输出波形。

M8的各口功能设置如下：

PD口：连接4×4小键盘，其中PD4...7为输出，PD0...3为输入。

PC口：PC3...5为字符液晶模块1602的控制口，PC0...2为DDS芯片AD9833的控制口，均为输出。

PB口：PB4...7为1602的数据口，液晶采用了4线接法，这样就可以把PB1用作第二功能，10位PWM输出OC1A，它的作用下面再说。

现在请看关键的 AD9833：它的引脚 2 是电源正端 VDD，可在 5V 或 3.3V 电压下工作，现在就用 5V。MCLK 为前面所说的外部参考时钟输入，时钟脉冲由 25MHz 的有源晶体 B1 产生。引脚 SDATA 为串行数据输入，频率控制字和 AD9833 的有关控制码就从这里进来。SCLK 为串行时钟输入，每个串行时钟脉冲的下降沿就加载一位串行数据。FSYNC 为控制输入，只有当它为低电平时才允许 16 位串行数据在串行时钟脉冲的下降沿的同步下进入 AD9833。输入顺序是先高位 MSB 后低位 LSB，注意刚开始允许输入（FSYNC 由高变低）时，SCLK 必须是高电平。对 DDS 的控制也就是用程序使得单片机的有关引脚按照以上要求发出控制脉冲和数据脉冲序列。引脚 VOUT 是波形输出端，它已经内置了 200Ω 负载电阻，输出正弦波或三角波信号最大为 0.65V，在频率高端，幅度会有所下降。供货商建议就用一个小电容 C14 对输出信号滤波，虽然简单，实际效果还可以。其他引脚为电源 VDD，数字地 DGND，模拟地 AGND（实际上相连），DAC 退耦 COMP(通

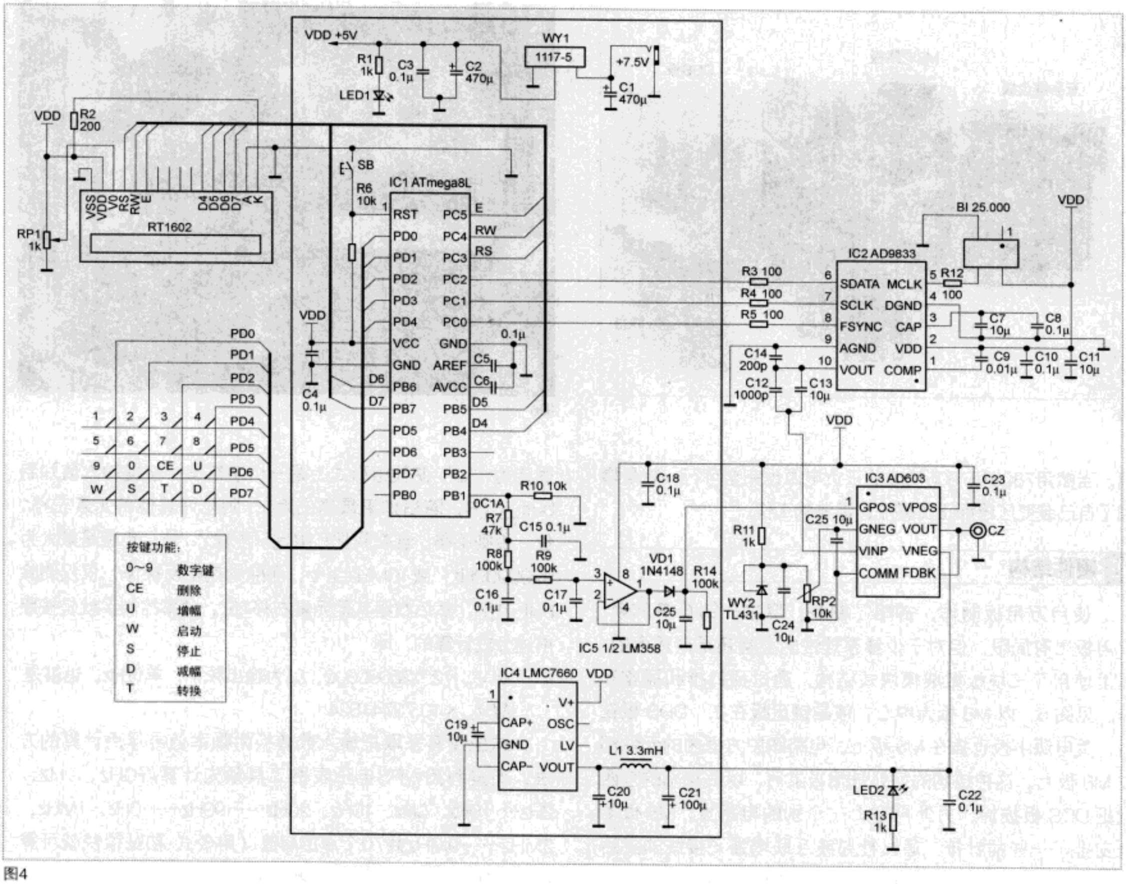


图4

过电容接电源），内部2.5V引出CAP(并接滤波电容)，总共10根引脚。

因为AD9833的输出电压较低，而可能的频率范围却很宽，所以在它后面加了一级可控宽带放大AD603：AD9833的输出经耦合电容C12、C13加到AD603的信号输入端VINP。在AD603内部，输入端接有可变衰减网络，其衰减量由引脚GPOS同相控制端和GNEG反相控制端之间的电压差值控制。当差值为0时，衰减一半，-21.07dB，总的电压增益应为10dB。GPOS加上正电压，电压越高，衰减量越小。GNEG端加上正电压，电压越高，衰减量越大，最大是-42.14dB。然后再通过内部反馈放大器放大，放大器的增益仅由外部反馈电阻决定，现在VOUT和FDBK直接相连，反馈量最大，增益最低（31.07dB），频响最宽（90MHz）。

在GNEG端通过电位器RP2加上一个固定电压VG2，这个电压越高AD603的总增益就越低；在GPOS端加上一个由单片机M8的PWM输出滤波整流得到的直流电压。如果PWM的占空比加大，经过R7、C15，R8、C16，R9、C17三级滤波和IC3跟随后再加整流的简易D/A的输出直流电压就升高，使得AD603的总增益上升。之所以这样麻烦是因为AD9833的输出从低频到1MHz非常平直，1MHz以上开始逐渐减小。而在100Hz以下的超低频端因为耦合电容C13的电抗增加也使得输出下降，因此通过单片机按照输出频率范围对AD603的增益加以补偿，使得最后的输出幅度基本稳定。当然，GPOS和GNEG端的电压也必须稳定。

为了直接输出对称的正弦波不再加耦合电容，AD603使用了正负电源供电。正电源就是稳压器来的+5V，负电源来自正负电源变换电路IC4——LMC7660，它通过内部开关的电容器电荷泵电路得到-5V电压，实际上因为AD603的电流较大（20mA），所以效果不是很好，空载能有-5V，负载后只有-3.7V左右，而且纹波较大。为了减小纹波，加了一个L1、C21组成的滤波电路，虽然输出电压降低到3.45V，可是纹波降到了5mV。不过因为信号输出幅度不大，还不至于引起切

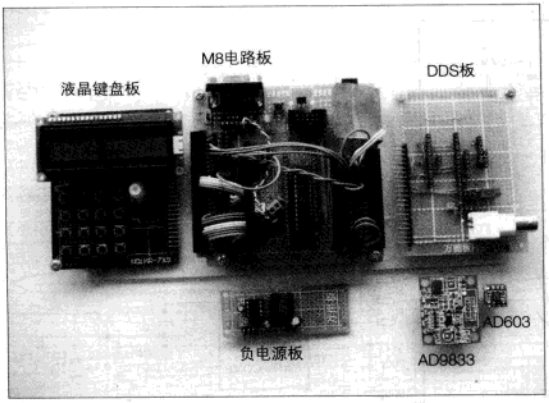


图5

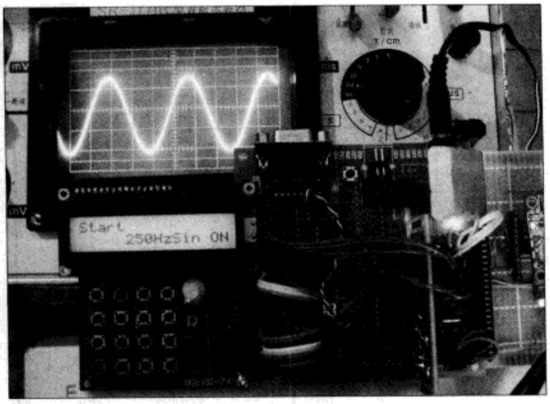


图6

幅。当然用7805和7905构成的正负电源也完全可行，就是增加了自己装变压器和正负整流、滤波的工作。

四 硬件结构

使用万用板制作，省略了制版、腐蚀、钻孔等麻烦。万用板虽有局限，但对于少量原理性的实验还是很适合的。这里使用了三块板做成模块式结构，通过插针排和插座互连。见图 5，以 M8 板为中心，液晶键盘板在左，DDS 板在右，负电源小板也插在 M8 板上。电路图中方框内的元件都在 M8 板上。这种结构的好处是相当灵活，以后搞别的东西就把 DDS 板拔掉，另外再插上一个别的电路板。M8 板本身安排了一些插针排，通过杜邦线互联增强了接线的灵活性。为了三部分插接起来后整体具有必要的刚度，用一块 2mm 厚，23cm × 11cm 的亚克力边角料做托板，用热熔胶在正确位置粘上塑料垫柱，电路板用螺丝固定在垫柱上。细心的读者会发现其中 DDS 板似乎有很多多余的插孔，它们的用途以后再说。

五 编程要点

我使用开源的C语言工具WinAVR 20070525版来编程，平台是AVR Studio4.12，M8设置为1000000Hz内部时钟（默认设置），整个工程采用模块化设计。这样做的好处是，对于键盘、液晶这样的通用元件，相关程序也是通用的，便于以后在其他程序中直接使用，遇到硬件接线需要改变，只要改变有关头文件中的宏定义即可，既方便又免于出错，相当机动灵活。

程序的关键是怎样向AD9833输入数据并生成频率控制字。所用的输入方法如同手机输入和删除电话号码的方法，实际上是建立一个数据缓冲数组buff_y1[9]，其中buff_y1[8]固定为“\0”使数组形式上是一个字符串，按键输入值加到buff_y1[7]，随后如果最高位为0，则允许其他各元素左移1位，否则不移。现在我把它限定只能输入7位，也就是最大为9999999Hz，或10MHz-1Hz。删除则是相反操作，仅仅删除buff_y1[7]，然后数组其他元素右移1位。频率控制字就是按照前述公式计算的，即

$M=f_{out}\times 2^{28}/25000000$，$f_{out}$为输出频率，单位Hz。也就是

$M=f_{out}\times 10.73741824$

这里没有采取把输入数转换为频率值再浮点计算的方法，而是利用WPS电子表格工具预先计算好0Hz、1Hz、2Hz……9Hz，0Hz、10Hz、20Hz……90Hz……0Hz、1MHz、2MHz……9MHz共70个点的M值（用公式-粘贴很快就可算好），做成FLASH中的二维数组表（在上述ctltab.h中），程序中就是根据数据缓冲数组中各元素的值查找FLASH数组表，然后相加得到9999999Hz以内的任意M值。这样单片机可以轻松完成，准确度也有保证。

因为 C 语言只能用 32 位的长整型数表示 M 值，但是 AD9833 要求输入的是 28 位 M 值，分低 14 位和高 14 位两次写入，所以要对 32 位 M 值缩减成 2 个 14 位，在每个 14 位的左边加上 01 或 10 两位（对应 AD9833 中两个不同的频率控制字寄存器，每次只任选一个）变成 16 位整型数后，串行输入 AD9833 里面。因为控制字的最高位实际是 0（例如 9MHz 的 M 值为 0X05C28F5C），所以缩减位数不影响频率控制字的正确性。

M8的16位定时计数器T1的OCR1A预置值决定了OC1A输出的PWM占空比，经过RC和IC3输出成比例的正电压，控制AD603的增益。实践证明，在1MHz以上，输出幅度会随频率增加而下降，因此，就根据buff_y1[1]和buff_y1[2]的数值，也就是键盘输入频率值的最高两位确定OCR1A的预置值。这些

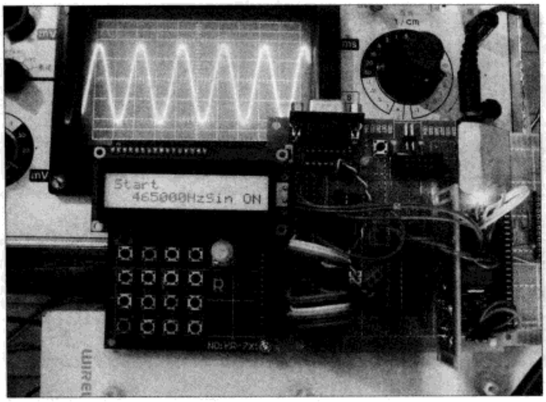


图7

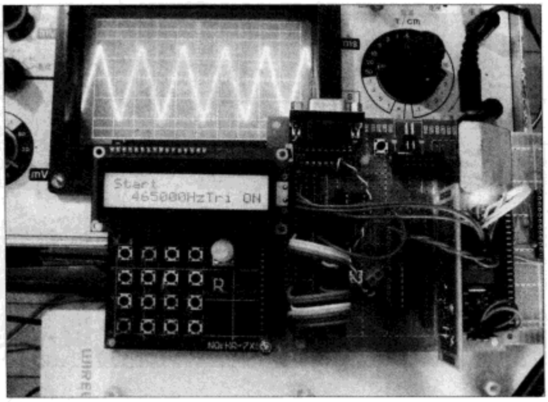


图8

预置值存放在另一个二维数组ocr1tab中，实际取值方法后面调试部分再说。程序中还加入了增幅和减幅控制，实际就是用按键增减OCR1A的取值并在LCD显示出来。

源程序可到《无线电》网站上下载，供参考。

六 制作要点

元件选择：万用板最好都是选用环氧基板材质的，尽管万用板的配线比较自由，最好事先也要规划一下，以免考虑不周造成元件的反复装卸，导致焊盘过度加热而脱落。如果不考虑灵活性，就用一块大板也可以，再一个简单方法就是使用现有的具有LCD和矩阵键盘的开发板，自己要做的仅仅是开发板上一般没有的DDS部分：包括AD9833、AD603、LM358、LCM6022及相关电路，M8的I/O线就根据实际情况选取。AD9833配套的小电路板必须使用贴片元件，其他电路板则不限。AD603也是小型封装，要用转换板把它转为8脚双列直插，这些小电路板使用IC插针排和插针座与万能板连接。为了调节方便，RP2使用小型多圈电位器。负电压转换电路的滤波电感，取自报废的节能灯（线圈必须完好）。

要制作成功，AD9833芯片必须完好。这个东西电子市场不一定有现货，有可能需要预订，需要量少的话商家也嫌麻烦。不过淘宝网上可以买到，只是买来的东西来路不明，好不好用是个问题。我就先买过一个，结果不成功。只能输出三角波（频率也不对），正弦波不对，是在矩形波的上冲和下冲叠加了一个幅度很小的正弦波，因为要试验就得动焊，一焊了也没法换了只得重买。后来找到一家不但提供芯片，还提供小电路板以及图纸和51程序，看来卖家在行，和他确认后没有问题才买下，使用的确没有问题，而且附带的小双面板做工精细。同时因为AD9833很小，直接用万能板很难安装，所以配带小电路板很有必要。实际上感到比较难的就是手工把AD9833焊到电路板上去，为此，需要一把尖头35W外热烙铁，必须要能够调节温度，哪怕自己做一个土的也行，尖部要吃锡良好。然后先把电路板对应芯片引脚部分的电路用锡加厚，引脚涂松香液，小电路板用夹具固定稳当，把芯片对准电路用尖镊子压住，烙铁尖上挂少许焊锡，小心把边上一个脚点锡固定。然后屏息静气逐一把引脚焊好，烙铁尖上挂锡千万不要多，以免引脚间粘连。万一粘连了也不要慌，加点小粒松香，把烙铁调热些对准粘连处加热，松香融化渗入，就分开了。如果不小心大团焊锡弄上去了，也不怕，用热烙铁把锡化开，然后用极快的动作把电路板顺着引脚方向在桌子上磕一下，多余焊锡也就磕下来了，当然也可使用吸锡绳吸取多余焊锡。

七 调试

这个东西虽小，也涉及好几部分，调试要按部就班。无论是一个小装置还是一台大机器，甚至一个车间或一座工厂，调试所遵循的基本原则都是一样的，就是先检查，然后将各个局部调好，最后整体联合调试，逐步展开。各个板子完工后，首先检查接线正确性，由于万用板接线要自己一根根焊，所以更要仔细。然后任何芯片都不要插，就只给M8电路板通电。如果稳压输出的发光管亮，5V电压正常，那么电源就合格了。然后检查M8插座上有没有电源电压，没有就找原因。M8电路板调试好了，再插上液晶键盘板，这时液晶没有显示，但是有背光，说明延伸到这块板的电源没问题了。插上负电压小板，插上DDS空板，再次检查各个正负电压，就这样把全部板子的电源回路打通，保证下一步的调试能够顺利进行下去。

接着，插上单片机M8、液晶，下载程序。下载完成后如果正常，液晶就会显示，上行是“AD9833 DDS MEGA8”，

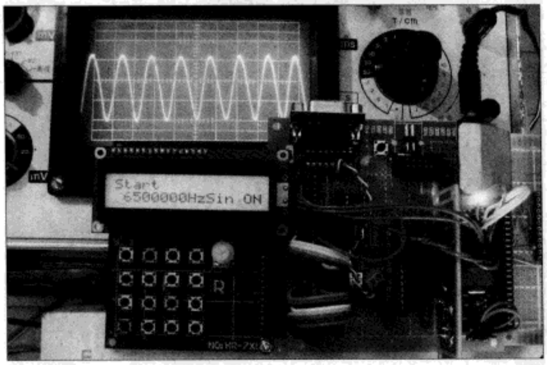


图9

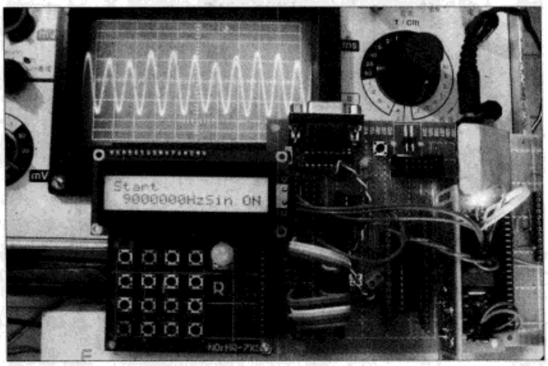


图10

下行是8个空白，接着是“HzSinSET”。如果白板，按下复位按键，调节对比度，就会有显示了。现在可以用小键盘输入数字，液晶下行空白处应该依次向左扩展显示数字，直到最多7位，按删除键，会删除个位，其他各位依次右移替补，直到全部删空。这样，液晶键盘板和单片机部分没有问题了。然后插上DDS板和AD9833小板，准备好示波器（不然你怎么看波形？），先不插AD603，在键盘上随便输入一个频率，例如5000，示波器Y幅度调到0.5V每格，X调到0.1ms，探头接到AD603插座的VINP孔，按下启动键W，5000Hz的波形应该就出来了，幅度应为160mV_{pp}左右。按停止键S，波形消失。按转换键T，再按启动键，三角波就应该出来了。

下面，要调整OCR1A的预置值，这个比较麻烦。准备一块数字万用表，先关电，插上AD603，RP2滑动端调到地端。通电后启动DDS输出1MHz以下某一个频率（例如5000Hz）的波形，示波器打到相应挡位，探头连接AD603的输出，应该有波形。用万用表的直流2000mV挡测GNRG引脚的电压，往正电源方向仔细调整多圈电位器RP2，边调边注意观察示波器波形幅度，会看到随着电压上升波形幅度减小，一直调到停止减小为止。保持电位器不动，记下这个电压作为日后参考。然后用小键盘上的两个幅度调整键改变OCR1A预置值，使波形达到2V_{pp}，这时LCD的上行会显示OCR1A的当前值。这就作为1MHz以下的预置值。然后对2、2.5、3、3.5、4MHz……调整幅度，记下各自的OCR1A。用插值就可以得到其他各值，用这些值更新程序头文件ctltab.h中的数组ocr1tab的各元素，重新编译链接成自己的.hex文件。这样做是在取得同样电压差时尽量使OCR1A小一些，调整起来比较方便。如果RP2调大了，OCR1A也要进一步升高，一个个增减比较更加费时。

对于频率低端1～9Hz和10～90Hz的OCR1A取值方法同上，分别存放在low_ftab1和low_ftab2中。

我的AD603也是从网上买的，虽然可以用控制电压调节增益，可是不但它们的特性和数据手册的不同，两个芯片的区别也很大，也就无法使用手册的方法设计控制电压。究竟是遭遇李鬼还是什么原因就不得而知，好在一次辛苦点，调整完毕后就不需要经常调动了，也比较稳定。

八 使用

插上7.5V直流电源，液晶屏亮，上行显示“AD9833 DDS MEGA8”，下行是8个空格，后面HzSinSET，如白屏，按一下M8板上的复位键SB即可。

用小键盘数字键输入以Hz为单位的频率值，在液晶下行空格处从右往左逐个填入，最多7位数，满7位后，继续输入只是改变最低位数字。输入完后如果需要修改，按删除键CE，从最低位起逐位删除已经输入的数字，再输入正确的数字，例如465000。然后按下启动键R，液晶上行显示Start下行显示465000HzSin ON，输出插座就输出465kHz的正弦波，可以用示波器观察。按下停止键S，DDS就停止，没有输出，液晶上行显示stop，下行显示465000Hz，SinOFF要输出三角波，按下转换键T，显示465000HzTriOFF。再按下R键，就启动DDS输出三角波。用按键U，增大幅度，上行右方显示OCR1A:nn。nn为OCR1A++后的当前值。减小幅度，用按键D，同上显示了OCR1A--的当前值，增减只有在启动状态才有效。以上各按键代号及位置见原理图。

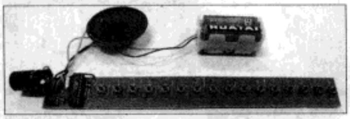
九 实际效果

250Hz正弦波见图6，示波器X每大格1ms，Y每大格0.5V；图7是465kHz正弦波，X每大格1μs；465kHz三角波见图8。图9是6.5MHz正弦波，X每大格0.1μs。输出除了基波外，肯定还有高次谐波存在，因为没有仪器，所以也无法测定。频率到了7MHz以上时幅度就不稳定了，这可能是由于简单滤波已难奏效的原因。到9MHz时已经是惨不忍睹，见图10。因此实际工作频率应该就是7MHz以下。

图解制作电子琴

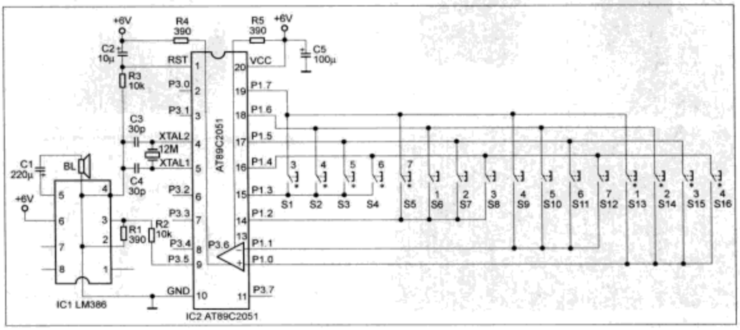
◎周宝善

1 自制一台电子琴玩玩吧，这款电子琴可演奏从低音3到高音4共16阶音符，声音响亮干脆，制作简单、编程容易，确保成功。



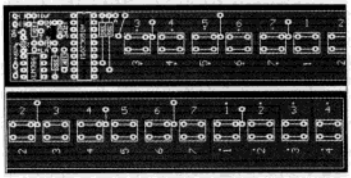
已做好的电子琴

2 这款电子琴共有16只按键，采用AT89C2051单片机编程控制，通过P3.5端口输出到LM386功率放大器，最后通过扬声器发声。



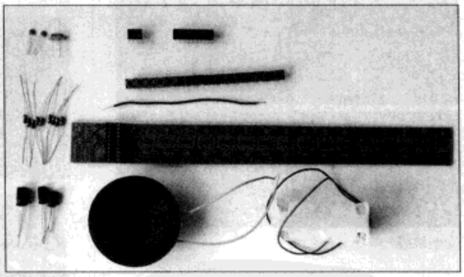
电路原理图

3 这款电子琴电路制作并不复杂，稍有焊接经验的电子爱好者就能独立制作成功。你也可以在万用电路板或面包板上连接这个电路。



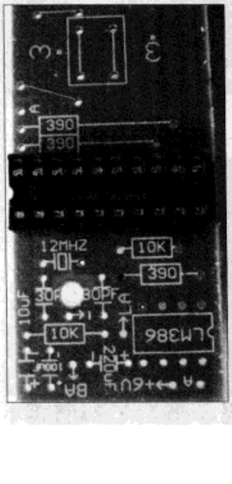
印制电路板

4 制作前的准备。电阻9只，其中10kΩ2只，390Ω7只，其中有4只390Ω电阻的引脚被用作跳线，电容5只，其中30pF瓷片电容2只，10μF、100μF、220μF电解电容各1只，晶体1只，振荡频率为12MHz，LM386集成电路1只，AT89C2051芯片1只，20脚IC座1只，轻触按键开关16只，导线1根，长度约10cm，扬声器1个，带长度约10cm导线2根，电池盒1个，可装4节5号电池（其他5～6V稳压电源也可以），另外，需电烙铁、焊锡丝、偏口钳、尖嘴钳和能写AT89C2051程序的编程器、电脑及相应软件1套。将元器件有规律地排放整齐。



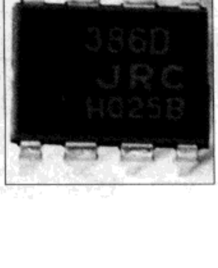
整理好的制作材料

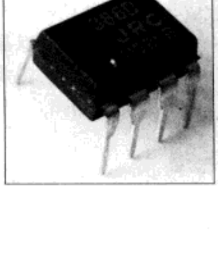
5 安装20脚芯片座。芯片座的缺口方向须与安装符号的缺口方向一致，安装高度为：贴近电路板。注意：必须确保芯片座的每一只引脚都插入到安装孔内，如果有个别引脚从芯片座里脱落，那么就将这只引脚重新安装回去，和别的引脚状态一样。



安装20脚芯片座

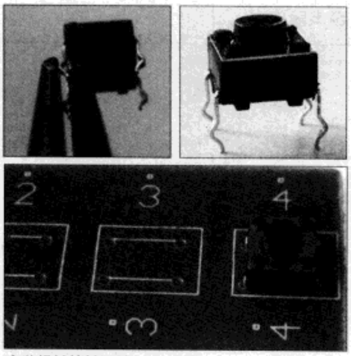
6 安装LM386集成电路。将LM386芯片上缺口方向与安装符号的缺口方向一致安装好，有的LM386芯片上没有缺口，但有一个记号点，记号点一侧即为缺口方向，如下图所示。安装高度为：贴近电路板。注意新的LM386芯片引脚宽度稍大于安装孔，将两侧的引脚向内稍弯折一些即可。确保芯片的每一只引脚都插入到安装孔内。





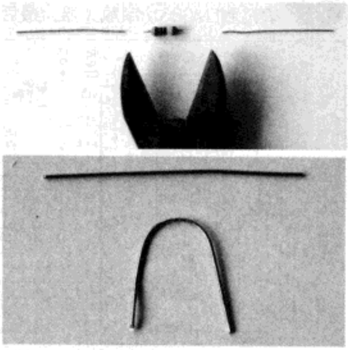
带记号点的LM386

7 安装轻触按键开关。这里使用的轻触按键开关规格为6mm×6mm，高度为5mm。它的4只引脚下方稍有些弯曲，制作时可用尖嘴钳将引脚夹直，安装在对应的安装符号位置上，如下图所示。如果不用尖嘴钳将引脚夹直，安装起来可能会比较困难。

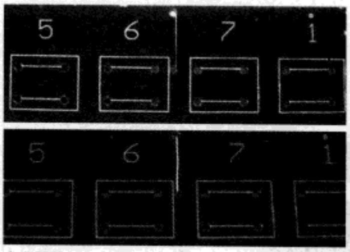


安装轻触按键开关

8 制作跳线。跳线即电路板上方起连接作用的导线。跳线可以将电流从电路板上的一点连接到电路板上的另一点，这好比过街天桥，可让行人从马路的一边走到马路的另一边。将390Ω电阻两端的引脚用斜口钳剪断，可得到两段长25mm的金属丝。

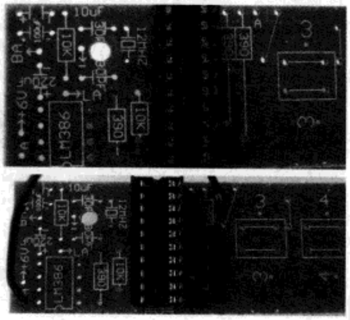

制作跳线

9 安装跳线。将金属丝弯折插入到印制电路板上横线两端的小孔内，如下图所示。安装高度为：贴近电路板。

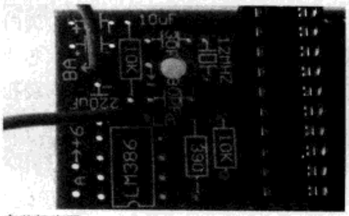


安装跳线

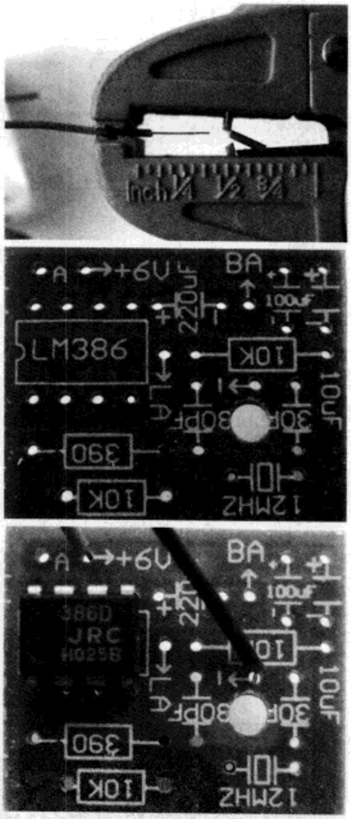
10 安装导线。在印制电路板左下角的字符A旁边有一小孔，在IC座右侧的字符A上方有一小孔，将导线两端的铜丝分别插入到这两个字符A旁边的小孔里，并用电烙铁焊接起来。


安装导线

11 安装扬声器。将扬声器两根导线末端的铜丝分别插入到字符LA与BA旁边的两小孔里，并用电烙铁焊接起来。

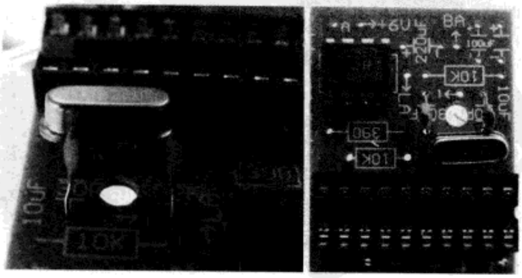

安装扬声器

12 安装电池盒。用剥线钳将电池盒的导线末端的绝缘皮层剥去5~10mm，将导线内的铜丝拧成一束，镀上一层薄薄的锡，然后将红导线安装在字符+6V旁边的小孔里，将黑导线安装在字符－旁边的小孔里，并用电烙铁焊接起来，如下图所示。安装高度为：导线末端的铜丝全部插入到小孔内。

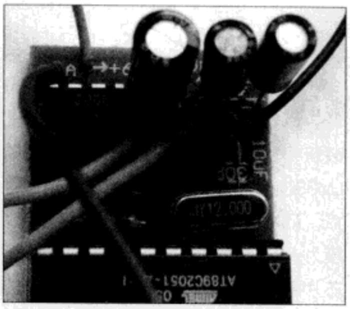


安装电池盒

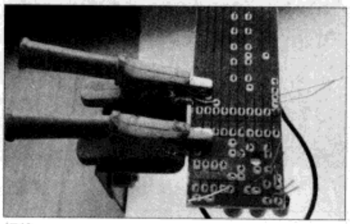
13 安装容量为30pF的电容和振荡频率为12MHz的晶体。注意晶体的安装高度：距离电路板3~5mm。


安装时钟电路

14 安装电解电容器和电阻器。注意：电容器的安装高度：距离电路板3～5mm，电阻器的安装高度：贴近电路板。

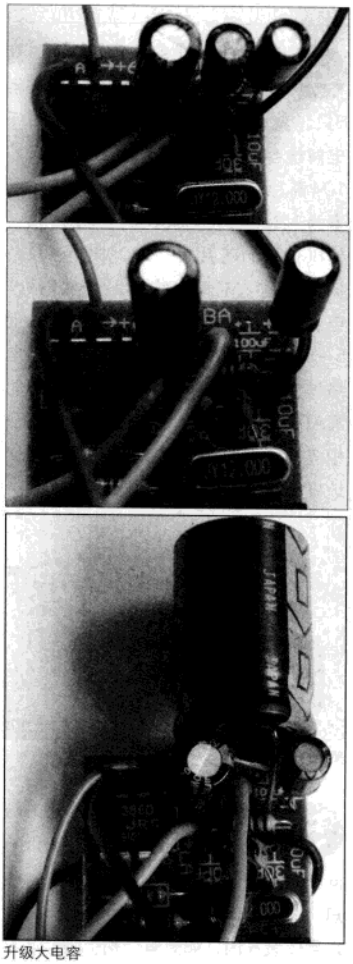

安装电解电容器和电阻器

15 焊接。元器件安装完毕，将电路板翻转180°，即元器件引脚朝上,用铁夹夹住,固定在操作台上,用电烙铁和焊锡丝进行焊接,用偏口钳剪去多余的元器件引脚。

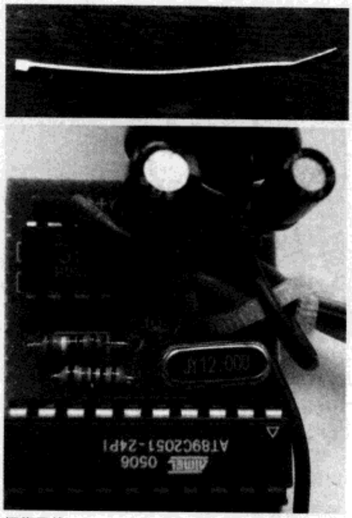

焊接

16 编写程序。将《程控16键电子琴》汇编程序输入到电脑中，编译正确，然后将程序通过51编程器写入到AT89C2051单片机芯片内。你可以在《无线电》杂志的网站www.radio.com.cn上找到该程序。

17 调试。将写了程序的AT89C2051单片机的两侧引脚向内稍弯折一些，缺口方向与IC座缺口方向一致，安装在IC座上，通电，按轻触按键开关，尝试着弹一曲心爱的歌曲，感受一下自己的劳动成果，发现效果真的很不错。如果特别仔细地听，可能会听到轻微的刺耳的噪声，将电容C5的电容量增加一些即可，比如：由100μF改换为2200μF，如下图所示，你几乎听不到一丝噪声。


升级大电容

18 捆绑导线。为了防止导线与电路板之间断开，可用尼龙带将导线捆绑在电路板的一小孔里。


捆绑导线

19 音调发声原理。C调，音符低音3，频率330Hz，周期3030μs，内部计时一次1μs(当晶体振荡器频率为12MHz时)。

因此，单片机每计数1515次反相一次，单片机定时计数值T=65536-1515=64021。

C调，音符中音1，频率523Hz，周期1912μs，内部计时一次1μs(当晶体振荡器频率为12MHz时)。

因此，单片机每计数956次反相一次，单片机定时计数值T=65536-956=64580。

以此类推，其他音调的频率值见附表。

附表 音阶频率对照表（C调）

音符	低音1	低音2	低音3	低音4	低音5	低音6	低音7
频率	262Hz	294Hz	330Hz	349Hz	392Hz	440Hz	494Hz
计数值	63628	63835	64021	64103	64260	64400	64524

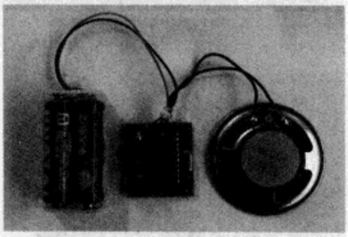
音符	中音1	中音2	中音3	中音4	中音5	中音6	中音7
频率	523Hz	587Hz	659Hz	698Hz	784Hz	880Hz	988Hz
计数值	64580	64684	64777	64820	64898	64968	65030

音符	高音1	高音2	高音3	高音4	高音5	高音6	高音7
频率	1046Hz	1175Hz	1318Hz	1397Hz	1568Hz	1760Hz	1967Hz
计数值	65058	65110	65157	65178	65217	65252	65283

图解制作《北京欢迎你》音乐盒

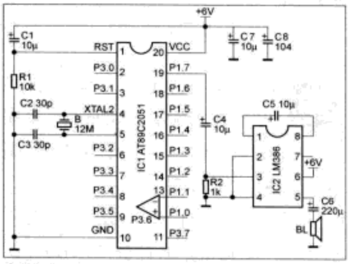
◎周宝善

1 这款《北京欢迎你》音乐盒，是通过单片机编程的方式制作出来的，音乐响亮干脆，制作与编程都不复杂，能确保实验成功。让人心动的是，你还可以编更多更好听的音乐在里面，非常值得一试！



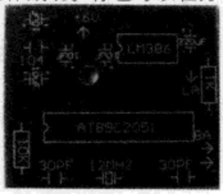
已做好的音乐盒

2 这款音乐盒，采用AT89C2051单片机编程控制，通过P1.7端口输出到LM386功率放大器,最后通过扬声器发声。



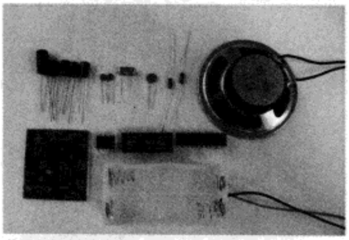
电路原理图

3 这款音乐盒电路制作并不复杂，稍有焊接经验的电子爱好者就能独立制作成功。你也可以在万用电路板或面包板上连接这个电路。



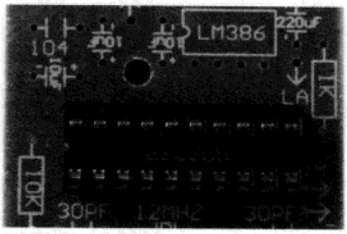
印制电路板

4 制作前的准备。电阻2只，其中10kΩ与1kΩ各1只，电容8只，其中30pF瓷片电容2只，10μF电解电容4只，220μF电解电容1只，104瓷片电容1只，晶体1只，振荡频率为12MHz，LM386集成电路1只，AT89C2051芯片1只，20脚IC座1只；扬声器1个，带长度约10cm导线2根，电池盒1个，可装4节5号电池（其他5～6V稳压电源也可以），另外，需电烙铁、焊锡丝、斜口钳、尖嘴钳和能写AT89C2051程序的编程器、电脑及相应软件1套。制作前将元器件有规律地排放整齐。



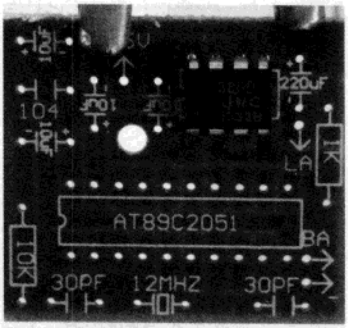
整理好的制作材料

5 安装20脚芯片座。芯片座的缺口方向须与安装符号的缺口方向一致，安装高度为：贴近电路板。注意：必须确保芯片座的每一只引脚都插入到安装孔内，如果有个别引脚从芯片座里脱落，那么就将这只引脚重新安装回去，和别的引脚状态一样。



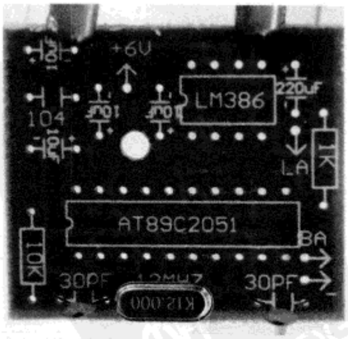
安装20脚芯片座

6 安装LM386集成电路。将LM386芯片上的缺口方向与安装符号的缺口方向一致安装好，有的LM386芯片上没有缺口，但有一个记号点，记号点一侧即为缺口方向。安装高度为：贴近电路板。注意：新的LM386芯片引脚宽度稍大于安装孔，将两侧的引脚向内稍弯折一些即可，确保芯片的每一只引脚都插入到安装孔内。



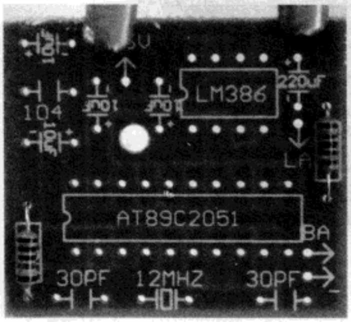
带记号点的LM386

7 安装30pF电容和12MHz晶体。晶体的安装高度为：距离电路板3～5mm。



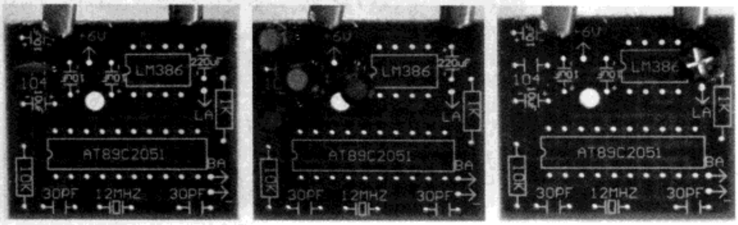
安装时钟电路

8 安装电阻器。电阻器的安装高度为：贴近电路板。



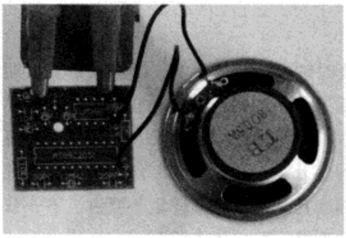
安装电阻器

9 安装瓷片电容器和电解电容器。电容器的安装高度为：距离电路板3~5mm。

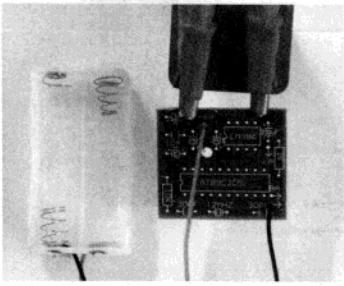


安装瓷片电容器和电解电容器

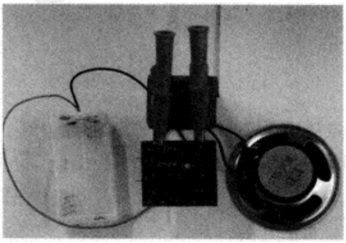
10 安装扬声器。将扬声器的两根导线末端的铜丝分别插入到字符LA与BA旁边的两小孔里，并用电烙铁焊接起来。


安装扬声器

11 安装电池盒。用剥线钳将电池盒导线末端的绝缘皮层剥去5~10mm，将导线内的铜丝拧成一束，镀上一层薄薄的锡，然后将红导线安装在字符+6V旁边的小孔里，将黑导线安装在字符-旁边的小孔里，并用电烙铁焊接起来。安装时须将导线末端的铜丝全部插入到小孔内。


安装电池盒

12 焊接。元器件安装完毕，将电路板翻转180°，即元器件引脚朝上，用铁夹夹住,固定在操作台上，用电烙铁和焊锡丝进行焊接，用斜口钳剪去多余的元器件引脚。


焊接

13 编写程序。将《北京欢迎你》音乐盒汇编程序输入到电脑中，编译正确，然后将程序通过51编程器写入到AT89C2051单片机芯片内。你可以在《无线电》杂志的网站www.radio.com.cn上找到该程序。

14 调试。将写了程序的AT89C2051单片机的两侧引脚向内稍弯折一些，缺口方向与IC座缺口方向一致，安装在IC座上，通电，音乐盒便自动开始播放《北京欢迎你》音乐，与MTV作一下同声对比，发现效果真的很不错。

15 音调发声原理。详见上一期《无线电》（2009年第7期）《图解制作电子琴》一文，此处不再赘述。

16 编写音乐程序代码方法。

本程序音长代码对应表如下：

简谱	3	3	2·	i–
音长代码	2	4	6	8

本程序音调代码对应表如下：

简谱	低音					中音							高音			休止符
	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	0
音调代码	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0A	0B	0C	0D	0E	0F	0

音调代码+音长代码+H，即作为音乐程序代码。注：音调代码“0A”不可简写为“A”。

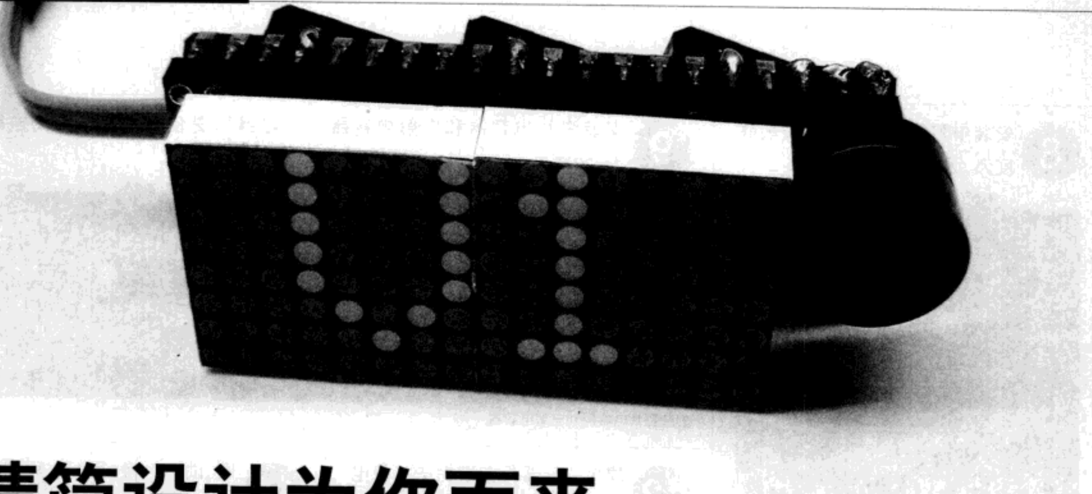
比如《北京欢迎你》简谱的第一句：

35　32 | 32　3 | 21　61 | 32·|

迎接　另一　个晨　曦　带来　全新　空气

【陈天佳】

简谱	3	5	3	2	3	2	3	2	1	低6	1	3	2
音调代码	8	0A	8	7	8	7	8	7	6	4	6	8	7
音长代码	2	2	2	2	2	2	4	2	2	2	2	2	6
合成代码	82H	0A2H	82H	72H	82H	72H	84H	72H	62H	42H	62H	82H	76H

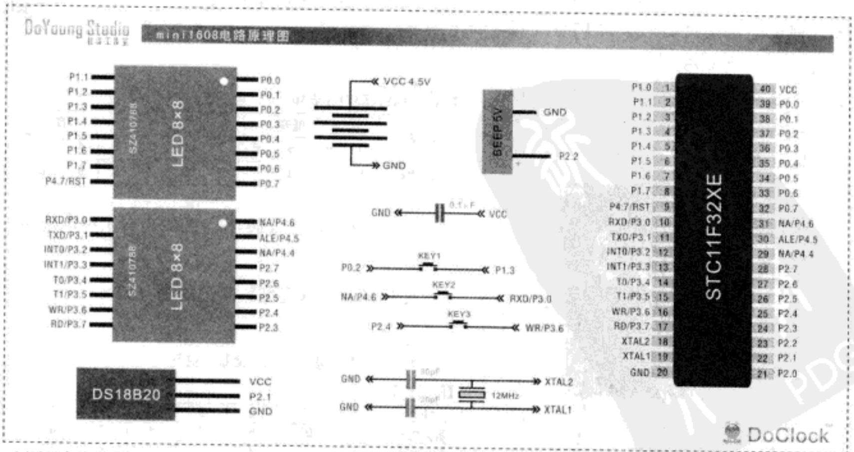


精简设计为你而来

◎杜洋

mini1608电子时钟（制作篇）

mini1608将会是你见过的极精简的LED点阵屏电子时钟之一，同时它也将会是功能强大且扩展性很大的作品。本文首先会改变你一直以来对LED点阵屏电子时钟的观念，然后告诉你15分钟之内完成制作的方法，最后介绍一下我的设计历程及几项技术的实现原理。mini1608没有PCB电路板，没有电源稳压电路，没有单片机复位电路，没有外扩时钟芯片，没有LED点阵屏的驱动芯片或电路。mini1608只需要11种元器件，而且还可以更少。它能够横向流动显示日期、时间、温度信息，纵向显示汉字及全中文操作菜单。不需要光电二极管或任何感光电路就可以实现对环境亮度的感知并自动调整LED点阵屏的显示亮度。它具有20级流动显示速度设置，9级显示亮度设置，2009~2029年的公历日期计算，1~60℃的室内温度显示。将来它还会具有20年内的公历及农历节日的中文提醒功能，用户自定义记念日提醒，9路独立闹钟功能和自定义整点报时功能。随着程序的开发和改进，它还可以实现LED点阵屏触摸操作，100级时钟模糊校准功能，高考或重要日期倒计时功能，用户自定义显示内容，还有一些杂七杂八的小功能。欢迎电子DIY爱好者朋友和我一起制作mini1608，我将为你提供烧写文件和程序升级，让它不仅制作好玩，而且可以从中得到启发，还有实用功能。闲谈碎语不要讲，下一节中说端详，现在跟我动手做，图文并茂指方向。

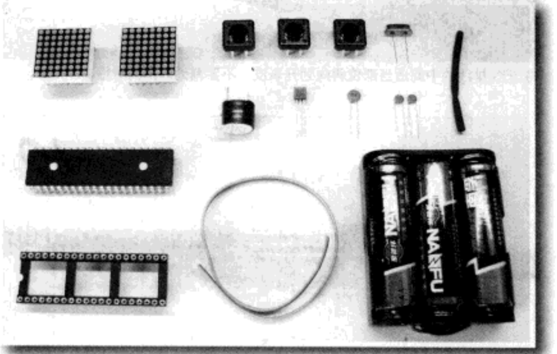


mini1608电路原理图

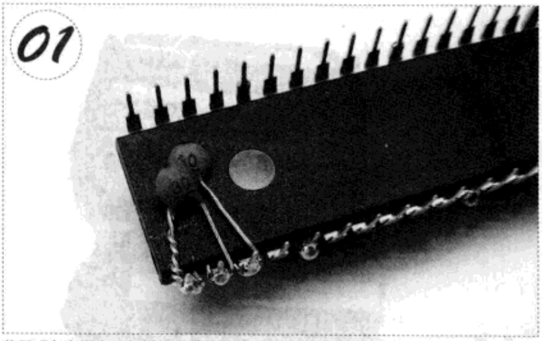
制作开始

请按照附表所列元器件清单去准备，注意单片机不可

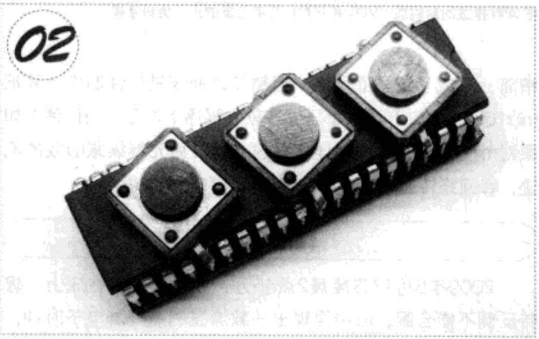
用89C51系列单片机代替，只能使用清单中指定的单片机型号，否则不能完成制作，这一点我在下文中会介绍原因。本文中使用4.5V的电池盒为mini1608提供电源，你也可以采用USB或电源适配器为它供电，但要注意意外断电将会使时钟数据丢失。要避免这种情况，你可以采用电池和市电并用的双电源设计，《无线电》2009年第6期的《断电后还能运行的多时段开关定时器》就实现了这一功能。



mini1608全家福



将30pF电容绑在一起焊接在单片机的18、19和20这3个引脚上。

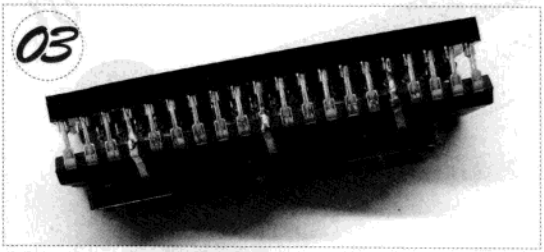


把3个微动开关剪去对侧的两个引脚，将余下的对侧引脚直接焊在单片机背面。

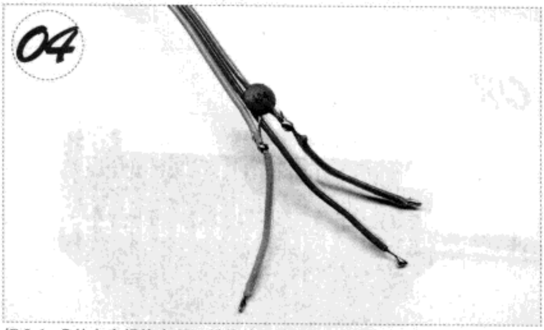
附表 元器件清单

品名	型号	数量	备注
单片机	STC11F32XE	1	大约11元/片，不可以用其他型号的单片机替代
芯片座	管孔式40PIN-DIP	1	可以用普通40PIN的单片机芯片座替代
LED点阵屏	SZ410788K	2	可以选择其他型号的同类型产品，但注意引脚定义
温度传感器	DS18B20	1	大约8元/个，选择TO-92封装
微动开关	12×12×6(mm)	3	大约0.5元/个
蜂鸣器	5V有源	1	大约1元/个
晶体振荡器	12MHz	1	大约1元/个，普通的直插式晶振即可
电容	0.1μF	1	大约8元/包，瓷片电容
电容	30pF	2	大约8元/包，瓷片电容
电池盒	3节5/7号电池	1	大约2元/个，输出电压在4.3~5.5之间

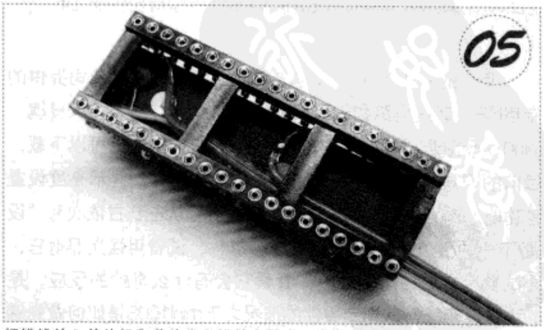
注：价格仅供参考，实际以市场报价为准。



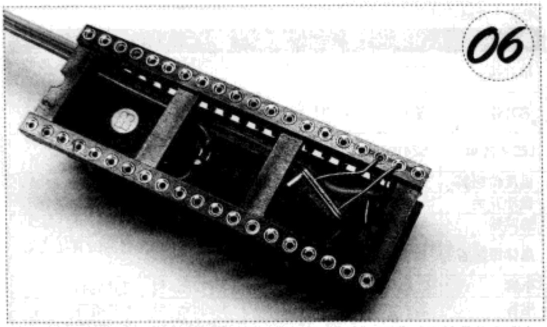
将芯片座插针一面直接焊接在单片机的引脚上。



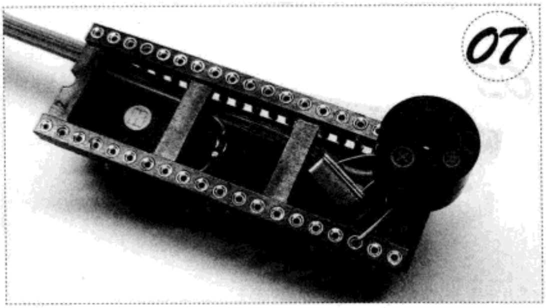
把0.1μF的电容焊接在3PIN排线的两端线上，这两端的线将会作为VCC和GND来连接。



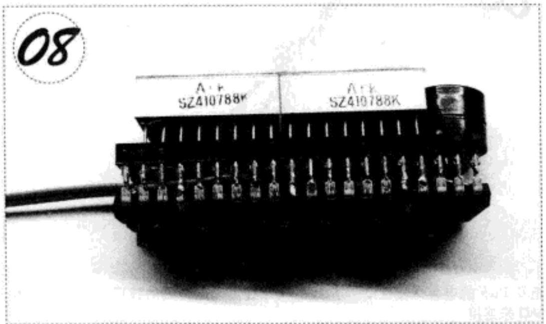
把排线放入单片机和芯片座之间的空隙中，排线两端焊接在VCC和GND上，中间线焊接在22脚上。



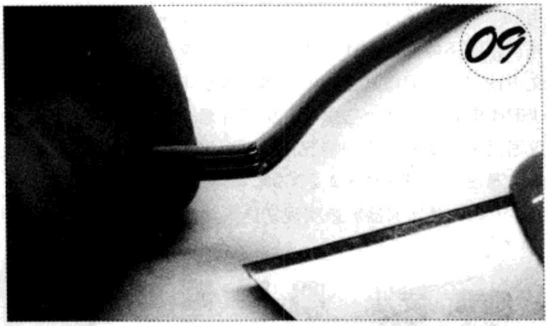
弯曲一下晶体振荡器的引脚并把它插入单片机 18 脚、19 脚对应的芯片座孔中。



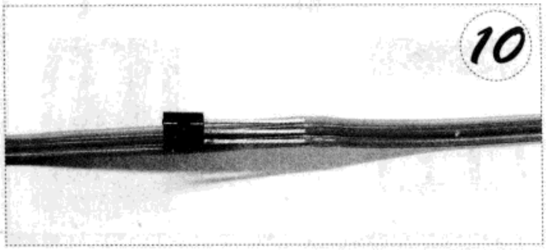
把蜂鸣器负极直接插入单片机 20 脚对应的芯片座孔中，正极连接到单片机 23 脚对应的芯片座孔中。



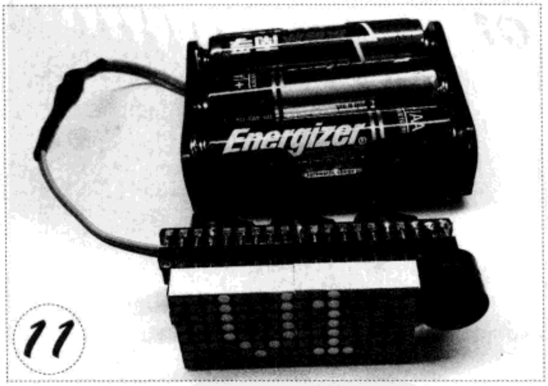
把 LED 点阵屏模块按照电路原理图直接插入单片机对应的芯片座的孔中。



将 3PIN 排线的中间适当部位斜向划开表皮，不要割到内部的导线。



把 DS18B20 芯片的引脚对照电路原理图插入刚刚划开的斜口中，再用胶带或热缩管包好。



把 3PIN 排线的两端线（VCC 和 GND）与电池盒的正、负极连接。

我们的制作到这里就完成了。你可以用宏晶公司提供的专用ISP下载线电路和STC-ISP.exe软件为mini1608注入灵魂。mini1608的HEX烧写文件在《无线电》官方网站上可以下载。目前的V1版本中有时间设置、流动速度设置、显示亮度设置等功能。mini1608屏幕朝前时，按键功能从左到右依次为“设置/下一项/退出”、“加1”、“减1”。试着用强光照射它，再试着把它放在黑暗之中，看看它会有什么奇妙的反应。是的，在没有任何感觉元器件的情况之下mini1608是如何做到感知并处理环境光亮度的呢？本节中的文字如同制作本身一样精简，形成了统一的风格，但精简之处仅是硬件制作，我把mini1608的复杂和强大都压缩在软件程序上面了，所以诸君如果对mini1608的程序原理感兴趣，就让目光继续跟随我的笔迹，峰回路转之间带你探索mini1608的奇妙原理。

精简设计

2009年5月17日凌晨2点45分，我一个人躺在床上，辗转反侧不能合眼。心中浮现出一款漂亮的点阵屏电子时钟，仿佛我曾经见过它一样，结构清晰、原理分明。我开始紧

张，发冷汗，好像它正用一种魔力召唤着我，诱导我把它制造出来。在整理我的元器件箱时，会有一种莫名的兴奋，眼前的一堆不起眼的东西，存在着无限巨大的可能，不同的人、不同的思想决定了哪些作品会通过我们双手的拼接而来到这个世界。它们来自电子世界，我们向往的世界。

我打开台灯，坐起身来，穿好衣服，开始制作。我可以废寝，也可以忘食，因为一个电子爱好者怎么也抵挡不了电子世界的诱惑，于是忘乎一切而沉迷于电子制作。从元器件箱中找到一款DIP封装40脚的普通8051单片机，然后把新买来的0788型8×8LED点阵屏的引脚插在上面，单片机的引脚竟然可以和点阵屏的引脚对应在一起。我更兴奋了，又找来一块点阵屏，将2块屏并列在一起，正好对应在单片机的连续16个引脚上。如果这16个引脚都是I/O接口，就可以直接把点阵屏和单片机焊接在一起来显示了。可是大家知道，传统的8051单片机的接口定义中并没有连续16个引脚是I/O接口的，通常都会有复位引脚之类的夹杂在中间，所以使用传统8051单片机是不可行的。打开电脑，查找各大单片机厂商的选型指南，希望找到一款适合的单片机来完成我的设想。不知过了多久，突然我的心跳加速、瞳孔放大，目光停留在数据表中的一行。STC11F32XE，32K字节FLASH、1208字节RAM、36个I/O接口、40脚PDIP封装。随后打开STC11F32XE的数据手册，找到它的引脚说明，它的40个引脚中除了VCC、GND和两个晶体振荡器接口之外，其他引脚都可以作为I/O接口使用。而且每一个I/O接口都有4种工作方式，其中包括推挽输出。这正预示着mini1608问世在即。

于是制作最简单硬件电路电子时钟的想法开始萌生，有了合适的单片机，余下的工作就是做减法，看看在传统的电子时钟的设计中有哪一些元器件和功能电路可以省略。我找出DY3208电子时钟的资料，那是很久以前的作品，虽然当时它受到了许多爱好者的欢迎，但我仍感觉这个电路对于初学者来说有些复杂，可惜一直没有好的方案蹦出来。这回的机会难得，就以DY3208电子时钟的功能为准，看看哪些可以继承，哪些可以精简。

DS1302是制作电子时钟最常用的时钟芯片之一，我之前制作的每一款时钟都有它的身影。他可以计算公历日期、备用电池保证时钟走时、内部RAM可以存储用户闹钟等数据。经过一番研究之后，决定在mini1608中使用单片机程序计算公历日期，STC11F32XE内部有EEPROM空间，可以长久地保存用户数据。但如果没有备用电池，单片机一旦断电就会丢失时间数据。为了解决这个问题，我决定使用电池为电子时钟供电。这样一来，我们成功地省去了DS1302时钟芯片，同时没有失去应有的功能。

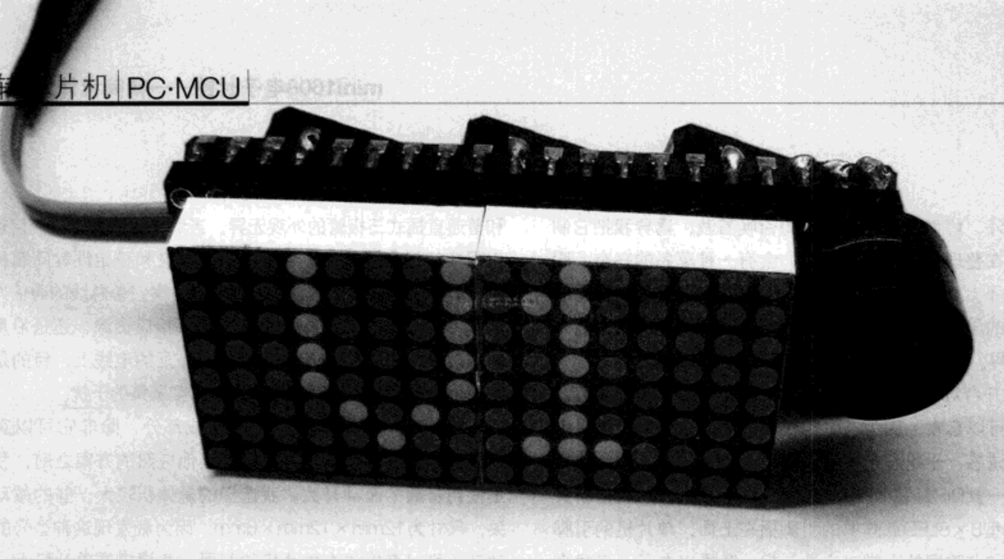
DS18B20是一款温度传感器芯片，它有一种TO-92封装，和普通直插式三极管的外观无异。当然，我也考虑过使用热敏电阻或其他电路替代，但都因电路复杂和稳定性等问题被否决，最后还是继承了这种温度传感器方案。单总线的通信方式确实可以节省本来就紧张的单片机I/O接口资源，还是沿用先前的设计，将DS18B20芯片制作在外延的电线上，目的是为了防止电子时钟主体发热而导致对温度采集的干扰。

按键是电子钟必不可少的组成部分，除非它可以实现无线遥控或者触摸屏幕。在没有其他成熟的方案之前，我还是使用普通的微动开关。我选择的是体积较大一些的微动开关，尺寸为12mm×12mm×6mm，因为我发现这种型号的微动开关可以直接放在单片机的背面，并焊接在单片机上。在传统的设计中，虽然按键功能并不是设计的主角，但它都会独自占用几个I/O接口。mini1608的方案决定了，不可能留出I/O接口专门给按键享用，它必须要“寄生”在现有功能的I/O接口上，通过程序分出按键扫描的时间。这样一来，按键电路没有独占I/O接口，省出了几个I/O接口。

因为使用电池供电，自然省去了电源稳定电路。因为I/O接口有推挽工作方式，也省去了LED点阵屏和蜂鸣器的驱动电路。当我在考虑省去元器件的时候，结果发现我连电路板也一并省去了。没有电路板的电子时钟电路，至少在我的记忆中前无古人。我重重地靠在椅背上，长叹一口气，复杂的终于不见了，留下的只有精简与创意。诸君注意，复杂的终于不见并不是说真的消失，而是绕过精简的硬件制作跑到了无形的程序世界。形成了简单的外表和复杂内心的反差。要相信，在我辗转反侧的时候，在我选择单片机的时候，在我精简电路的时候，我都在不断地思考程序的设计与实现，那是mini1608存在的根本，也是精简设计的灵魂。灵感乍现并不是失眠所至，不要学习辗转反侧，失眠不会产生灵感反会影响健康。创新是放弃所学的固有知识，在思想中不断探索最根本的学术原理，创新的前提不是学习，是放弃。

原来是理

探索最基本的学术原理，这是科技进步的大前提。手机的发明是因为发现了无线电，飞机的出现是因为有了空气动力学原理，mini1608的发明是因为有了杜洋不懈努力。学会了制作，就只学会了制作，学会了基本原理便学会了创作。本文的续篇是对mini1608程序实现原理的分析，它包括对增强型单片机内部集成功能的使用，还有对各器件的驱动和各种数据的处理。其中I/O的推挽工作方式、LED点阵屏实现测光的原理，在给你启发的同时，也给你尽情畅想和发挥的天地。一个月之后的今天，阳光明媚的中午，别忘了《无线电》的老地方，杜洋与你的神秘约会。



终极原理为你而来

◎杜洋

mini1608电子时钟（原理篇）

今天阳光明媚，今夜多云转晴，《无线电》的老地方，杜洋静静地等候。一个月前，我心潮澎湃地把我最新设计的mini1608电子时钟与你分享。精简的制作、漂亮的外观、强大的功能都深深地吸引了你。你热情高涨，兴冲冲炮制了一个，结果大获成功。也许欣喜之后你却变得迷惑起来，这是认真研究、深入思考的结果，当你从制作层面往技术原理层面思考的时候，就会遇见问题，有所不解。好在8月杜洋与你有约，促膝长谈mini1608的技术原理，带你从制作到创作，全面了解并彻底使用它们，为你的DIY事业创造新鲜乐趣。

自力更生——什么是I/O接口的推挽工作方式

上文提到STC11F32XE的每一个I/O接口都有4种工作方式，其中包括推挽输出。推挽输出是什么呢？对于没有使用过增强型8051单片机的朋友，这个名词是有些陌生的。传统8051单片机的I/O接口只可以作为标准双向输入/输出接口，如果用它来驱动LED则只能用灌电流的方式或是用三极管外扩驱动电路。灌电流方式是将LED正极接在VCC上，负极接在I/O接口上。当I/O接口为高电平时，LED两极的电平相同，没有电流，LED为熄灭状态。当I/O接口为低电平时，电流从VCC流入I/O接口，LED点亮。当把LED正极接在I/O接口，负极接在GND，再将I/O接口置于高电平时，LED被点亮，但因为I/O接口上拉能力不足而使亮度不够理想。推挽工作方式就是一种具有强上拉能力的工作方式，借助它可以实现高电平驱动LED。惊喜出现了，把LED正负极分别接在两个I/O接口上，然后设置正极的I/O接口为推挽输出，负极的I/O接口为标准双向灌电流输入，结果会怎么样呢？非常好，我们可以直接用I/O接口驱动LED而不需要VCC和GND。LED点阵屏就是多个LED的阵列连接，只要把LED点阵屏的所有引脚接在I/O接口上，然后根据LED点阵屏的引脚定义，将对应正极的I/O接口设置成推挽，将对应负极的I/O接口设置成标准双向输入，余下的就是把将要点亮的LED点阵屏上的点所对应的行列线分别给予高低电平，那么一切就尽在你的掌握之中。

有朋友可能会问，推挽工作方式这么好，我们在编程时要如何设置呢？这个问题问得好，其实设置I/O接口的工作方式和设置I/O接口的电平状态一样简单。我们以C语言编程为例，首先要加载STC11Fxx.h的头文件，因

P1接口设定（P1.7,P1.6,P1.5,P1.4,P1.3,P1.2,P1.1,P1.0）

P1M1【7:0】	P1M0【7:0】	I/O接口模式（P1.x 如作A/D使用，需先将其设置成开漏或高阻输入）
0	0	准双向口（传统8051 I/O接口模式），灌电流可达20mA，拉电流为230μA，由于制造误差，实际为250－150μA
0	1	推挽输出（强上拉输出，可达20mA，要加限流电阻）
1	0	仅为输入（高阻），如果该I/O接口需作为A/D使用，可选此模式
1	1	开漏(Open Drain)，如果该I/O接口需作为A/D使用，可选此模式

STC11/10xx系列8051单片机I/O接口特殊功能寄存器 Port SFRs

寄存器	地址	名称	7	6	5	4	3	2	1	0	复位值
P0	80h	8-bit Port 0	P0.7	P0.6	P0.5	P0.4	P0.3	P0.2	P0.1	P0.0	1111,1111
P0M1	93h										0000,0000
P0M0	94h										0000,0000
P1	90h	8-bit Port 1	P1.7	P1.6	P1.5	P1.4	P1.3	P1.2	P1.1	P1.0	1111,1111
P1M1	91h										0000,0000
P1M0	92h										0000,0000
P2	A0h	8-bit Port 2	P2.7	P2.6	P2.5	P2.4	P2.3	P2.2	P2.1	P2.0	1111,1111
P2M1	95h										0000,0000
P2M0	96h										0000,0000
P3	B0h	8-bit Port 3	P3.7	P3.6	P3.5	P3.4	P3.3	P3.2	P3.1	P3.0	1111,1111
P3M1	B1h										0000,0000
P3M0	B2h										0000,0000
P4	C0h	8-bit Port 3	P4.7	P4.6	P4.5	P4.4	P4.3	P4.2	P4.1	P4.0	1111,1111
P4M1	B3h										0000,0000
P4M0	B4h										0000,0000
P4SW	BBh	Port 4 Switch	–	NA_P4.6	ALE_P4.5	NA_P4.4	–	–	–	–	x000,xxxx

为STC单片机官方给出的头文件中有I/O接口工作状态设置的定义。可以在宏晶公司STC单片机的官方网站上找到头文件，然后把下载到的头文件放到C:\Keil\C51\INC文件夹里面。下一步就是在程序开始处声明这个头文件。注意声明中的文件名要和INC文件夹中存放的头文件的名字相同。

```
#include <STC11Fxx.h> //声明STC单片机头文件
P1M0 = 0x01;
//设置P1接口工作方式
P1M1 = 0x04;
//设置P1接口工作方式
P4M0 = 0x02;
//设置P3接口工作方式
P4M1 = 0xf4;
//设置P3接口工作方式
P4SW = 0xff;
//设置单片机功能引脚作为P4接口使用
```

例如我们对I/O接口的工作方式做出如下设置：

```
P1M0 = 0x09;
//0000 1001
P1M1 = 0x05;
//0000 0101
```

即表示P1接口中，P1.7到P1.4为标准双向输入/输出接口，P1.3为推挽工作输出接口，P1.2为高阻态输入接口，P1.1为标准双向输入/输出接口，P1.0为开漏状态接口。具体设置可以对照STC单片机的SFR数据表。注意P4SW寄存器对应位设置为1时，则此引脚才可作为P4接口使用。

权宜之计——为什么要用逐点扫描

通常我们驱动LED点阵屏都会使用一种习惯的方法，那就是逐列扫描法。把一组I/O接口定义为行，然后依次选通每一列，在选通某列时对应地送入这一列所需要的行数据，也就是说在同一时间里会有至多一列LED被点亮。对于mini1608的电路设计是不可能实现的，因为数据手册告诉我们，I/O接口的推挽工作方式也并非万能。一般情况下推挽工作方式所能输出的最大电流是20mA，而标准双向输入/输出工作方式也只能灌入20mA的电流。同时，整个单片机在同一时间内所能承受的最大电流为60mA，超过这个电流值，单片机就会有生命危险。逐列扫描时，每一个LED都会消耗10～20mA的电流，让I/O接口同时驱动8个LED，结果只有死路一条。为了解决这个问题，我们只好采用逐点扫描方式，即在同一时间内只有一个LED被点亮。这样做既保证了单片机和LED的身体健康，让单片机I/O接口的推挽能力恰好达到要求，又不会出现逐列扫描时LED显示亮度不均的问题。从这一点上看，这并非被迫之选，而是绝佳之计。

技术严谨又注意细节的爱好者朋友可能会发现整个电路设计中没有用到任何电阻，自然也就没有LED必配的限流电阻。限流电阻是在电路电压大于LED驱动电压时，为保持LED在正常工作电流范围内而使用的。现在整个电路的电压为5V，mini1608公然省略了限流电阻是否会对电路有一定影响呢？我在设计时也认真考虑并做了一些实验，结果令人愉快。使用I/O接口的推挽方式，并在软件上使用逐点扫描，不加限流电阻依然可以保证LED工作在正常电流范围。有惊无险，畅通无阻。

层出不穷——怎样实现LED点阵屏多级显示亮度

当我第一次把自己设计的渐明渐暗LED灯程序演示给一个同学看的时候，他的感觉是好神奇。他奇怪为什

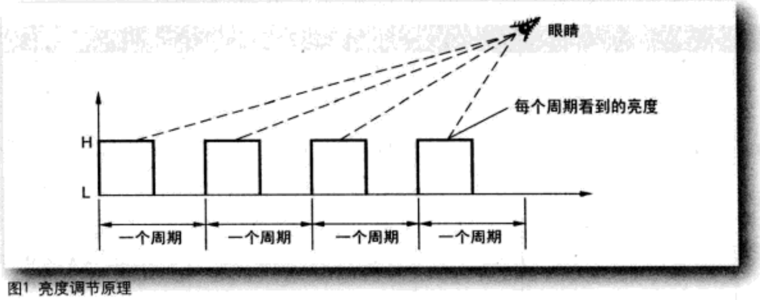


图1 亮度调节原理

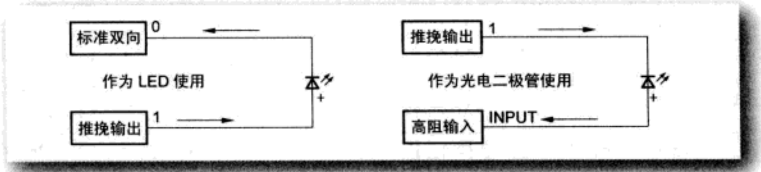


图2 LED测光原理

么单片机只能输出高、低电平，却会使LED产生渐变的亮度呢？他对单片机性能的了解确实值得肯定，但他忘记了眼睛的双重间谍身份。当我们以1分钟为一个周期，在1分钟内让LED亮1分钟，就也是一直亮着，LED的亮度就是最大的亮度。当我们在1分钟内只让LED在前30秒钟点亮，后30秒钟熄灭，那么LED的亮度就只有原来亮度的一半。当我们在1分钟内只让LED在前6秒钟点亮，那么LED的亮度就只有原来亮度的十分之一，这就是亮度控制的基本原理，见图1。现在该有人暴跳如雷地说我骗人了，因为地球人都知道我上面说的现象实际上只会让LED慢慢地亮熄闪烁，怎么会是亮度的变化呢？是的，如果以1分钟为一个周期，LED确实只会闪烁，这仅是为了方便大家理解。当我们以1毫秒为一个周期时候，就是我们见证奇迹的时刻，由于眼睛的视觉暂留特性，已经看不出LED的闪烁，我们的眼睛亲眼见证了LED亮度真的不同了。眼睛骗了你，善意的谎言。那么让单片机控制亮度变化的程序应该怎么写呢？我反问单片机在1分钟之内前6秒点亮，后54秒熄灭的程序应该怎么写呢？问题自有答案。

一箭双雕——如何用LED点阵屏实现测光

《无线电》2009年第4期的《LED进化史》有一段介绍LED的反向应用，即把LED当作光电二极管使用。当时我只是引用了一个外国网站的资料，从那之后我就一直关注着LED的反向应用，不久前的实验拉近了我们的距离，将LED反向应用的始末完全呈现在我的眼前。在光线不同的情况下，LED的反向电阻会有所变化，光线强时电阻值变小，光线弱时电阻值变大。如果利用AD转换功能可以读出电阻值变化的每一个细节，但我在mini1608上没有使用AD转换，而是利用了单片机I/O接口的高阻态输入功能。mini1608的LED点阵显示屏在正常情况下，正极为推挽输出，负极为标准双向接口，上文已经讲过。当我们要检测环境光线的时候，就将LED负极的I/O接口变为推挽高电平输出，给LED一个反向电压，LED正极的I/O接口变为高阻态输入。当环境光线强的时候，LED的反向电阻值变小，LED正极的电压会变高，当高过I/O接口高电平的最小值时（一般为2V），则单片机识别为高电平输入。当环境光线弱时，LED反向电阻值变大，LED正极的电压会变低，当低于I/O接口高电平的最小值时，单片机识别为低电平输入，见图2。虽然只有两种状态的判断，但对于mini1608观察白天还是晚上已经足够了。如果想判断光线强弱的更多种状态，可以通过读取反向LED电平变化的时间，如果电平变化时间短，则说明光线强，电平变化时间长，则说明光线弱。还可以同时并入反向LED来增加测光的精确度，完全不需要ADC就可以完成测光。

白天环境光线强，LED点阵屏本身要亮一些才能看得清楚。晚上环境光线弱，LED点阵屏要变得暗一些才不会让起夜上厕所的你感觉刺眼。mini1608变聪明了，也更体贴了。我还会继续研究LED反向应用的技术，并会在《无线电》杂志上一一与大家分享。

各大电子技术类杂志都不把源程序代码算做稿费的一部分，这样做可以使作者不愿意公开源程序代码，是一种变相激励读者独立创作热情的方法，对此我也表示支持。在此仅提供HEX文件供感兴趣的爱好者朋友仿制。如果你有能力、也有热情编写程序，按照上文说明的原理去思考，很快你便有了思路甚至方案。无论是白天还是夜晚，当你阅读本文时，我正端坐在电脑前，面对上千条的程序代码，对mini1608进行升级。我有热情和勇气与mini1608并肩作战，实现每种奇妙的功能，完成每个看似不可完成的任务。mini1608会不会是LED点阵屏电子时钟的终结者？我们拭目以待。

NXP系列单片机的编程

◎鲍丽星

Flash Magic是Embedded Systems Academy公司出品的基于PC的编程工具，它可以直接在目标系统中通过RS232口或以太网，对NXP公司出品的集成有flash的单片机进行在系统编程。并且该工具是免费的，使用者可到Embedded Systems Academy公司的网站（www.esacademy.com）上直接下载使用，当前的版本是V3.12。

软件特点

Flash Magic适用对象为NXP系列内嵌flash的51芯片及ARM7芯片，这些芯片都具有在系统编程（ISP）功能，通过该功能，开发人员可以随时随地对芯片的flash进行擦写，而不需要将芯片从线路板上拔下，装入专用编程器编程，极大地方便了单片机程序的开发工作，降低了开发成本。而且，该软件仅仅通过5个步骤，就可以轻松实现对单片机的在系统编程。

和针对51系列的ISPlay相比，Flash Magic无需制作专用下载线，可直接使用串口线下载。由于采用串口通信，因此当下载线较长时也不会受到外界信号的干扰。而ISPlay采用并口通信，所以下载线不能太长。另外，Flash Magic还可以对NXP的高性能单片机（如增强型51内核的89lpc900系列）的特殊功能进行设置。

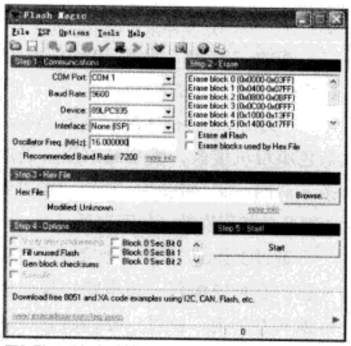


图1 Flash Magic主界面

应用实例

下面通过对NXP公司的P89LPC935单片机进行编程，详细介绍Flash Magic的使用。

P89LPC935是NXP公司出品的高性能单片机，运行速度是普通单片机的6倍，并集成了多个系统级功能，支持ISP功能，便于开发和调试，具有很高的性价比。该芯片可使用内部时钟或者外部时钟作为CPU的时钟，并可以保护flash扇区。另外，该芯片还具有一个看门狗定时器。以上特性，使用者都可以通过Flash Magic进行设置。

编程前设置

下载并安装好Flash Magic后，在计算机桌面上就会出现Flash Magic的图标。双击该图标，运行Flash Magic后，显示的是Flash Magic的主界面，如图1所示。

选择“Options”菜单中的“Advanced Options…”命令（图2），在弹出的对话框中选择“Hardware Config”选项卡，勾选“Use DTR and RTS to enter ISP mode”，并在“Hardware”下拉框中选择“Keil MCB 900”（如图3所示）。

选择“security”选项卡，勾选“Protect ISP code”，以防止误操作，导致ISP启动代码被擦除（如图4所示）。

图2 高级选项设置

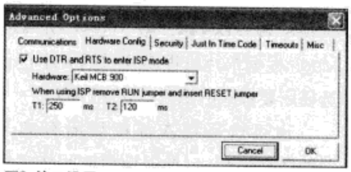


图3 接口设置

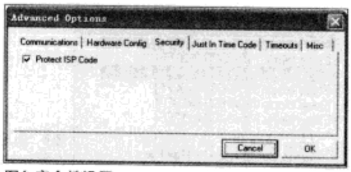


图4 安全性设置

设置好后，就可正式进入编程步骤。

正式编程

第一步，进行通信设置（如图5所示）。

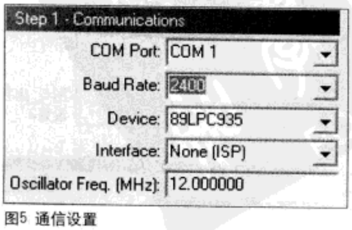


图5 通信设置

首先选择PC机与目标板相连接的串口号，本文采用PC机的串口1（COM1）与目标板进行通信。然后选择通信波特率，注意，一开始不要选择太高，可以选择最低速率2400，通信正常后，可根据实际时钟频率选择较高值，一般可选择9600。最后选择时钟频率时要注意，该时钟频率必须与目标板上使用的单片机时钟频率完全一致。

第二步，选择擦除flash的扇区（如图6所示）。

在这里，软件显示出芯片flash的所有扇区，可根据需要选择某个或几个要擦除扇区，这些扇区可连续也可不连续。

若开发的单片机程序对flash扇区没有特殊要求，也可直接选择“Erase blocks used by Hex File”选项，让Flash Magic根据单片机程序代码的大小自动选择所要擦除的扇区，如图7所示。

也可选择每次都擦除所有扇区（如图8所示），此时编程时间将会长一些。

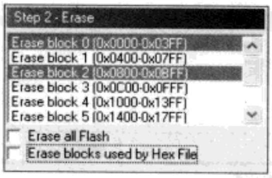


图6 扇区设置1

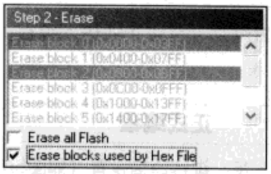


图7 扇区设置2

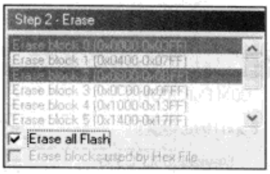


图8 扇区设置3

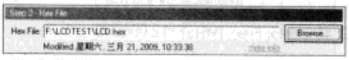


图9 文件选择

第三步，选择二进制程序代码文件（如图9所示）。

点击“Browse…”按键，在弹出的文件选择对话框中，选择要编程的二进制程序代码文件。

此时在文件名下方，显示出该文件的修改时间。点击右侧的“more info”，则在弹出的对话框中，显示包括程序代码大小、所占用的flash扇区、以及CRC校验码等详细信息（图10）。

第四步，特殊编程选项（如图11所示）。

在这一步中，Flash Magic提供了一些特殊的编程选项，如“Fill unused Flash”，是让Flash Magic将那些没有被程序代码使用的flash空间，也填写上特殊字符，防止他人非法读取flash中的程序代码。而“Gen block checksums”则是在每个扇区的最高位填写校验码，开发人员可根据这些校验码确认flash中的程序是否正确。

在这里要特别注意的是，“Block n Sec Bit m”（其中n：0,1,2,3,4…，m：0,1,2），该选项是用来保护flash扇区中的内容被非法读出的。但如果选择了“Bit 2”后，就无法通过Flash Magic将其取消，而只能通过商用编程器将该选项清除。因此，若非特殊需要，该步骤中的选项可不用勾选。

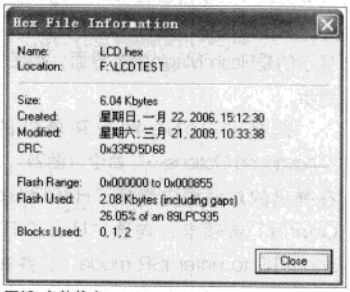


图10 文件信息

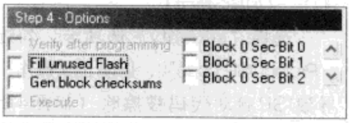


图11 特殊编程选项

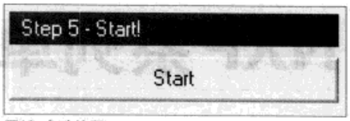


图12 启动编程

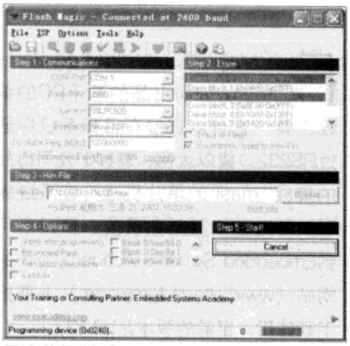


图13 编程进行中

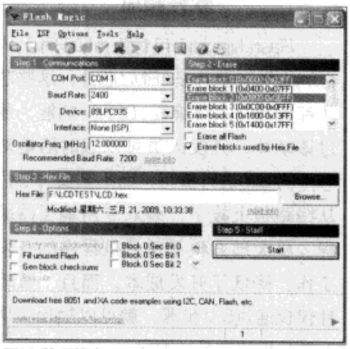


图14 编程结束

第五步，启动编程（如图12所示）。

点击“Start”按键，激动人心的编程就开始了（图13）。

Flash Magic在底部状态条上显示蓝色编程进度条。编程结束后，进度条左侧的“0”将变为“1”，表明当前执行的编程次数（如图14所示）。

通过上述5个步骤，就完成了对单片机的在系统编程，将电路切换到运行模式并加电，就可以立即看到程序的运行效果。

PIC拷贝器的原理与应用

◎钟科

PIC单片机是市场上常用的单片机之一，我们在使用烧写器烧写PIC程序时，可曾想过PIC的烧写原理？少量的IC在通过电脑烧写是可以的，一旦产品批量生产，再用电脑来烧写程序显然不能满足我们的要求，于是拷贝器应运而生。无论是烧写器还是拷贝器，它们都涉及PIC的ICSP串行烧写技术。下面以16F877为例，为大家详细介绍PIC的ICSP串行烧写知识。

烧写原理

16F877烧写关键引脚见图1，VDD和VSS未画出，RB7，RB6在编程的时候分别作为DATA数据口和CLOCK时钟口，分别叫做PGD口和PGC口，MCLR复位端在编程时作为VPP引脚烧写电压，$V_{PP}=(V_{DD}+3.5)\sim13.5V$，$V_{DD}=4.5\sim5.5V$，VSS为地端。ICSP烧写有两种方式：第一种方式是高电压烧写，保持PGD口和PGC口为低电平，把VDD和VPP从低电平驱动到高电平即进入烧写模式；第二种方式是低电压烧写，VPP只需要与VDD相同的电压。优点是只需要低电压就可以烧写，缺点是需要事先使能低电压编程LVP位，因为这种烧写方法不能烧写配置位，只能用第一种方法即高电压才能修改配置位，这种方法适用于在应用中不需要修改配置位的场合，保持PGD口和PGC口为低电平，把VDD、VPP和PGM口从低电平驱动到高电平即进入烧写模式。这里介绍第一种方法，第二种方式只多了一个需要控制的PGM口，时序跟第一种方式一样。

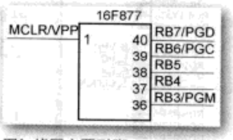


图1 烧写主要引脚

PIC单片机的内部存储空间有RAM区和ROM区，编程就是擦写ROM区。ROM区又分为FLASH程序存储区和EEPROM数据存储区。在16F877中，FLASH空间为8KB，每一字节为14位，EEPROM空间为256B，每一字节为8位。所谓8位机，是指数据是8位宽，因为PIC是哈佛结构，程序指令和数据指令分开，所以程序指令宽度不等于数据指令宽度。FLASH程序存储区的地址是从0000H到3FFFH，在16F877中，有效的程序地址为0000H到1FFFH，即8KB。2000H到2007H是比较特殊的一段程序区，只能通过烧写器访问和修改，一旦把IC烧写完毕，这个区的数据就不能由用户再修改了。剩下的从2008H到3FFFH在16F877中是没有使用的区域，不存在的。值得注意的是EEPROM映射的地址是2100H，实际上跟程序存储区是没有冲突的，它只是方便由烧写器对EEPROM直接烧写数据。

为了使程序模块化，编写了3个子程序：写指令子程序WRITECOM()、写数据子程序WRITEDAT()、读数据子程序READDAT()。举WRITECOM()来说明：

```
void WRITECOM(unsigned char com)
{
unsigned char i,j;
i=com;
j=6;  //指令有效位最多只有6位，请参见附表，所以循环6次
while(j--)
{
PGC=1;
if(i&0x01)  PGD=1;  //数据的送出，注意要保证数据在PGC从高低电平跳变前后的建立时间和保持时间都大于100ns，可以加空指令NOP来实现
else  PGD=0;
i=i>>1;  //循环右移，目的就是把数据一位一位地从低位到高位送出去
PGC=0;
}
PGD=0;  //当退出该子程序时，确保PGD、PGC为低电平
}
```

写数据子程序WRITEDAT()和读数据子程序READDAT()只需要修改循环次数和把数据送出改为读入即可。

烧写过程分为以下4个步骤：读取DEVICE ID、擦除ROM、烧写ROM和校验ROM。鉴于对数据存储区EEPROM的操作与对程序存储区FLASH的操作相似，所以下面的擦除、

附表

指令名称	指令代码/16进制	16位数据
加载配置位	××0000/00H	0+14位有效数据+0
块擦除第一步	0 0 0001/01H	
给程序存储器加载数据	××0010/02H	0+14位有效数据+0
给程序存储器加载数据	××0011/03H	0+14位有效数据+0
读取程序存储器数据	××0100/04H	0+14位有效数据+0
读取数据存储器数据	××0101/05H	0+14位有效数据+0
地址加1	××0110/06H	
块擦除第二步	0 0 0111/07H	8ms
开始擦除/烧写周期	0 0 1000/08H	4ms
开始只能烧写周期	0 0 1000/18H	1ms

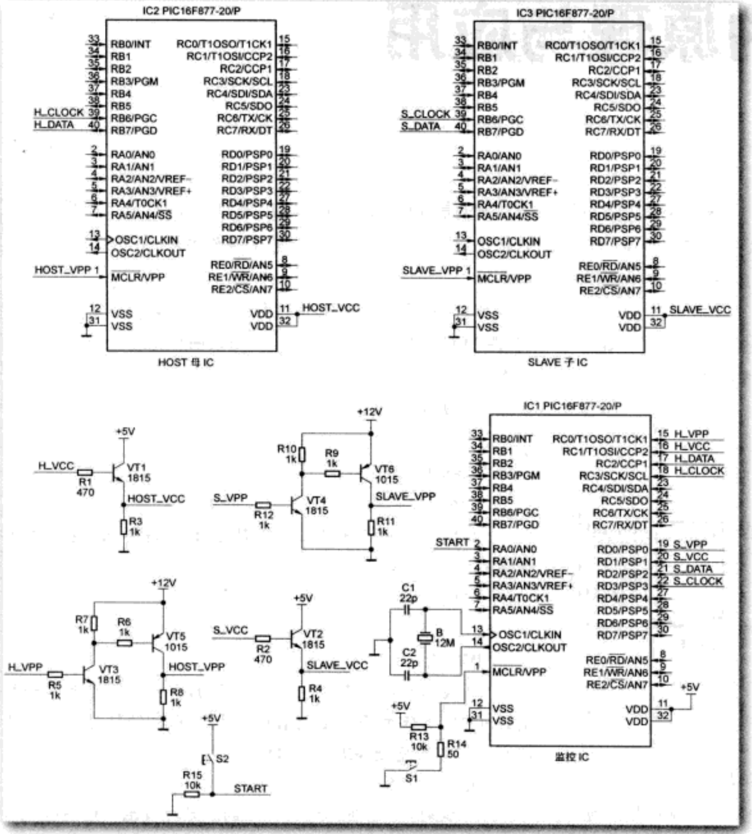


图2 拷贝器原理图

烧写和校验只写出了对FLASH的操作，对EEPROM的操作可参见表1把程序存储器的指令改为数据存储器的指令即可。

第一步，读取DEVICE ID：

1.加载配置位：WRITECOM(0);

2.写入地址高低位数据：WRITEDAT(00H，00H);//需要注意的是并不是写入2000H来访问2000H地址位，而只能通过写入00H和00H来访问地址2000H，通过地址加1来访问2006H

3.地址加1：WRITECOM(6);//一直加到2006H，因为DEVICE ID在2006H

4.读数据：READDAT( );

第二步，擦除ROM，包话FLASH和EEPROM：

1.给程序存储区加载16位数据：WRITECOM(2);//擦除FLASH

2.数据高低字节均为FFH：WRITEDAT(FFH，FFH);//第一小步是命令，这一步才真正送出数据

3.块擦除第一步：WRITECOM(1);

4.块擦除第二步：WRITECOM(7);

5.开始擦除：WRITECOM(8);//延时10ms以上

6.块擦除第一步：WRITECOM(1);

7.块擦除第二步：WRITECOM(7);//连续两次的擦除命令是擦除必需的时序步骤

第三步，烧写ROM：

1.给程序存储区加载16位数据：WRITECOM(2);//烧写FLASH

2.写入欲烧写的数据高低字节：WRITEDAT(DATAH，DATAL);

3.开始烧写：WRITECOM(8);//延时4ms以上

4.地址加1：WRITECOM(6);//然后再循环到第1小步，直到0000H~1FFFH全部写完

第四步，校验ROM：校验只需要在上面的程序里改动一点就可以实现了，比如在烧写步骤里，当把高低字节的数据烧入程序存储器后，马上读回这个地址的数据，与刚才烧入的数据相比较，如果不相等则烧写出错并报警同时退出。

详细各步骤的时序图请参见MICROCHIP的数据手册DS39025F.pdf。

应用

PIC程序拷贝器。这个应用很简单，也很有意思，主要是不需要电脑来传输HEX数据，不需要编写PC电脑烧写软件。电路的整个原理图请参见图2，对应的开发板模块见图3。目的是监控IC把母IC的程序全部复制烧写到子IC里面去，实现了

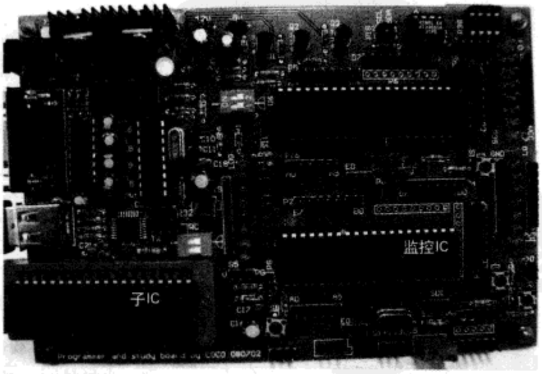


图3 开发板模块

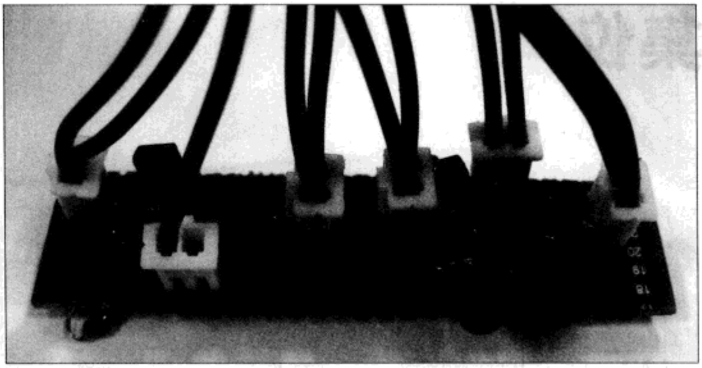


图4 烧写电压驱动电路

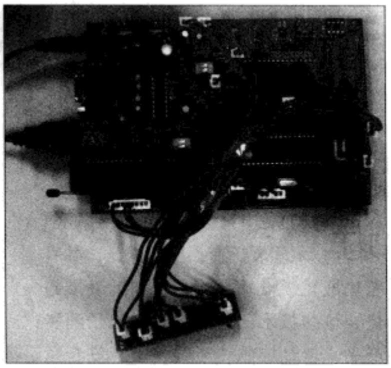


图5 连接好的实物全貌

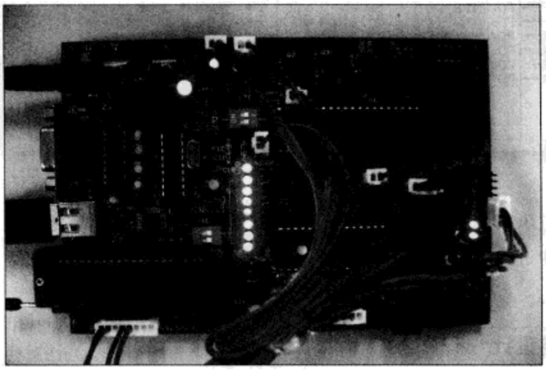


图6 烧写OK

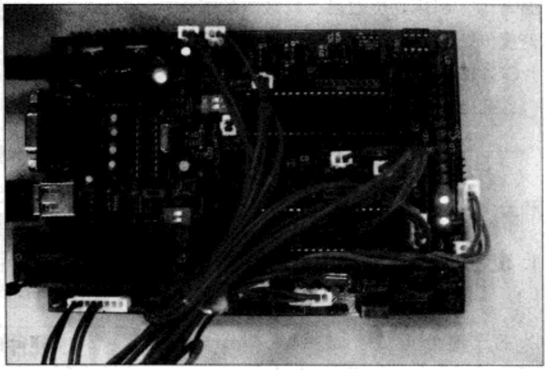


图7 烧写NG

一个IC程序拷贝器的功能。

显然监控IC是无法提供烧写电压的，我们需要做一个烧写电压驱动电路，就是图2的左边部分，给母IC和子IC提供VPP烧写电压及VDD电源电压，做好的实物图见图4。首先要测试这个驱动电路能不能正常工作，对照着原理图，给驱动电路接上5V和12V的电压，在H_VCC分别输入0和5V看输出是不是分别也是0和5V，在H_VPP分别输入0和5V，看输出是不是分别是0和12V，S_VCC和S_VPP采用同样方法测试。驱动电路是整个电路的关键部分，只要输出电压正常，硬件部分就没什么问题了。测试完之后我们按照定义好的端口号，对号入座，把驱动电路板分别接入监控IC、母IC和子IC的对应引脚，见图5。连接好电路以后，按一下START开关，即开始复制程序。电路图中有3个状态指示LED，分别是烧写OK灯、烧写NG灯和等待指示灯。如图6、图7所示，烧写OK灯表示拷贝结束，没有发生错误，程序已经烧写到子IC中；烧写NG灯表示有发生错误，烧写不成功；等待指示灯表示设备已经准备好，按下START键即可开始拷贝。在烧写过程中，增加了烧写流水指示灯用于显示烧写进度，当按下START键开始拷

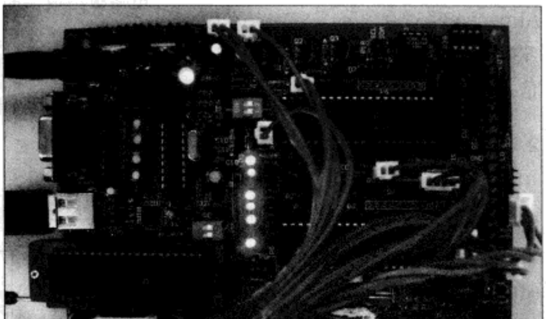


图8 正在烧写中

贝时，8位的烧写流水指示灯从最低位开始亮，直到8个灯全亮时表明拷贝过程结束，见图8。复制一个8KB的HEX，需要大约40秒。本文是针对16F877而言，所以这里用到的3个IC都是16F877，当然，也可以选其他型号的PIC，需要注意的是，每个型号的IC的烧写指令不尽相同，有细微的差别。

无线加速度采集仪

◎胡进 崔元洋

近些年来，传感器技术和无线通信技术发展迅速、应用广泛，并有着集成化、低功耗、易操作的发展趋势。这些技术已广泛应用于电子消费产品、自动控制、无线警报、安全系统等各个领域。本系统正是基于这方面考虑，利用高灵敏度、低成本的加速度传感器MMA7260和单片RF收发芯片CC1100设计了无线加速度采集仪。

系统组成原理

整个系统由现场加速度采集系统和无线接收系统两部分组成。

1. 现场加速度采集系统

现场加速度采集系统主要由以下三部分组成：主控MCU——ATmega48、加速度传感器——MMA7260和RF收发芯片——CC1100。ATmega48通过片内AD采集MMA7260测得的数据，利用SPI接口与CC1100通信，实现加速度数据的发送。

2. 无线接收系统

无线接收系统主要由以下三部分组成：主控MCU——ATmega48、RF收发芯片——CC1100和显示模块，其中ATmega48和CC1100通信部分与现场加速度采集系统类似。显示模块负责将CC1100接收到的数据进行处理，通过液晶显示或者通过UART接口将其发送到PC上位机软件中进行分析，实现加速度数据的接收。

图1 现场加速度采集系统框图

图2 无线接收系统框图

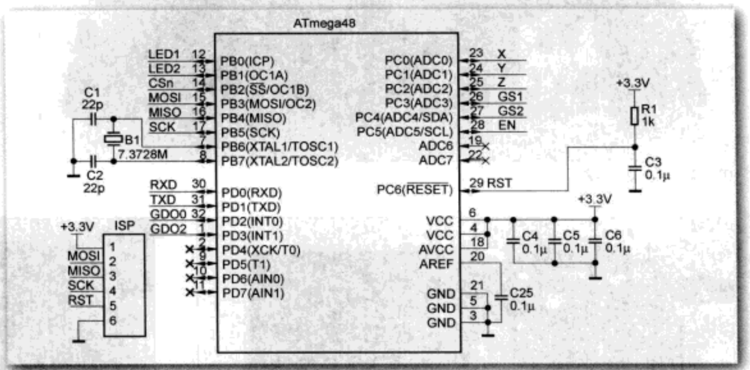


图3 主控MCU单元

硬件电路设计

根据前文分析，整个系统由两块电路板组成，即现场加速度采集电路板和无线接收电路板。但是两者有很多共同点，如CC1100无线传输单元是一致的，故不再单独分析。

1. 现场加速度采集电路板

（1）主控 MCU 单元

ATmega48是高性能、低功耗的8位微处理器，采用哈佛(Harvard)总线结构，先进的RISC(Reduced Instruction Set Computer)指令系统，运行速度接近1Mips/MHz，具有4K字节的Flash程序存储器，256字节的EEPROM，512字节的片内SRAM。ATmega48功能强

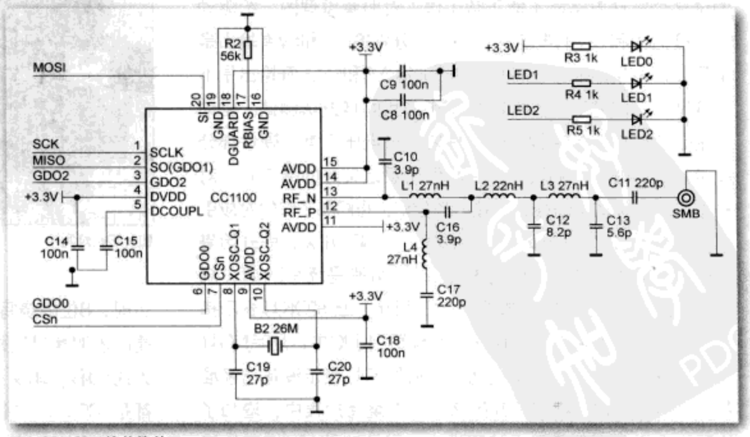


图4 CC1100无线传输单元

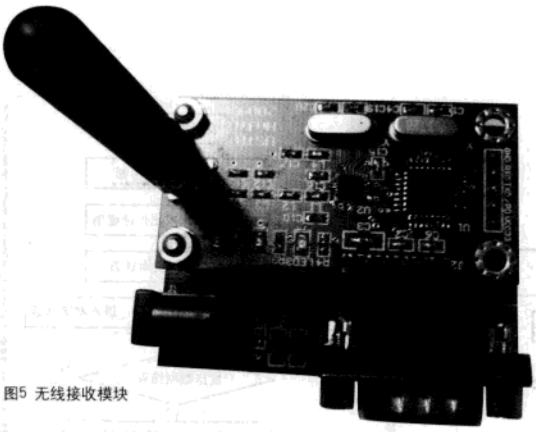


图5 无线接收模块

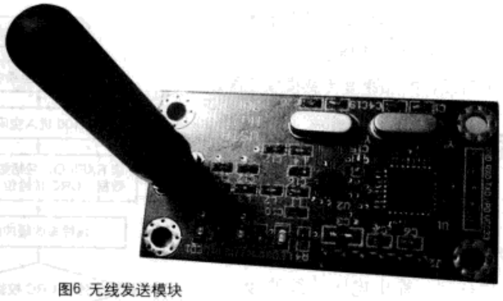


图6 无线发送模块

大，价格低廉，是一款性价比极高的MCU。

ATmega48外围电路设计如图3所示，时钟源选用7.3728MHz外部晶体振荡器（编程时应注意ATmega48熔丝位的设置），C1和C2选用22pF，ISP是在系统编程接口。

(2) CC1100 无线传输单元

CC1100是一款低成本单片超高频(UHF)射频（RF）收发器，为低功耗无线应用而设计，具有体积小、工作电压低、功耗低、灵敏度高等特点。整个应用电路的无线频率主要设定在315MHz、433MHz、868MHz和915MHz四个ISM（工业，科学和医学）和SRD（短距离设备）频率波段，也可以方便地设置为300～348MHz、400～464MHz和800～928MHz等其他频率上。RF收发器集成了一个高度可配置的调制解调器，这个调制解调器支持不同的调制格式，可编程控制的数据传输率最高可达500kbit/s，通过开启集成在调制解调器上的前向误差校正选项，能使性能得到提升。在发射状态下，其发射功率可编程调节，其最大发射功率达到＋10dBm。

使用CC1100只需要少量的外部元件，工作在433MHz的应用电路设计如图4所示。

CC1100通过4线SPI兼容接口(SI、SO、SCLK和CSn)实现与MCU的通信，对CC1100的配置、控制和数据收发都通过该SPI接口进行。GDO0、GDO2与ATmega48的PD2、PD3相接，用于指示是否已完整地接收了一个数据包，它们可作为ATmega48的外部中断源信号。在缺省情况下，GDO0会输出一个晶体振荡频率(192Hz)的方波，在调试时，这可作为判断CC1100是否正常工作的依据。

收发模块见图5、图6。

(3) MMA7260加速度采集单元

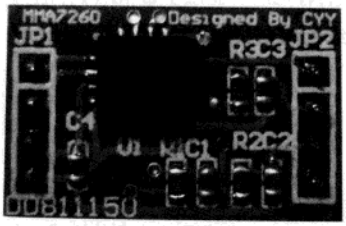


图8 加速度传感模块

MMA7260是美国Freescale公司生产的一款低成本单芯片三轴加速度传感器。该微型电容式加速度传感器融合了信号调理、单极低通滤波器和温度补偿技术，同时提供了4种加速度测量范围，分别为：±1.5g、±2g、±4g和±6g。MMA7260还具有很高的灵敏度，当选择±1.5g的测量范围时，灵敏度达到800mV/g。而且，MMA7260提供休眠模式，是电池充电的手持设备产品的理想之选。

MMA7260电路设计较为简单，如图7所示，只需在输出端口加一级RC滤

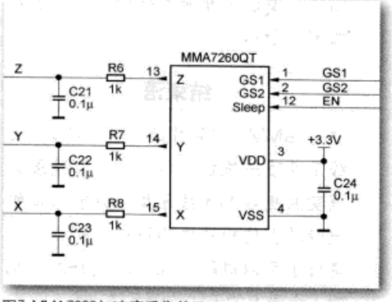


图7 MMA7260加速度采集单元

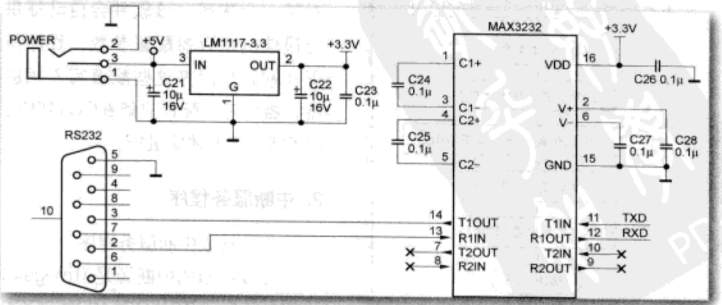


图9 无线接收电路板RS232部分

波即可。其中GS1和GS2是灵敏度选择端，EN是休眠模式选择端。

笔者设计的加速度传感模块见图8。

2. 无线接收电路板

无线接收电路板设计如图9所示，整个系统都采用3.3V供电，采用稳压芯片LM1117-3.3。LM1117属于低压差稳压芯片系列，输出电压的纹波较小，可满足CC1100的供电要求。无线接收电路板除了主控MCU单元和CC1100无线传输单元外，使用MAX3232进行电平转换，实现与PC端上位机的通信。

软件设计

软件开发环境为ICCAVR，使用C语言编程。现场加速度采集系统中加速度数据的采集采用中断的方式，利用INT1的溢出中断每隔1ms触发ADC，无线传输采用半双工的通信方式，利用中断的形式接收和发送数据，图11和图12分别对应两个中断事件和相应的中断服务程序。为了高效率地进行数据采集与传输，整个系统都基于中断进行设计。

1. 初始化程序

ATmega48和CC1100初始化程序

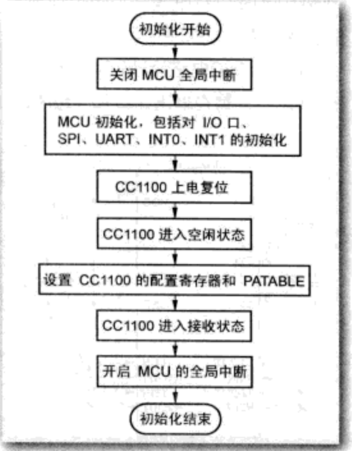


图10 初始化流程图

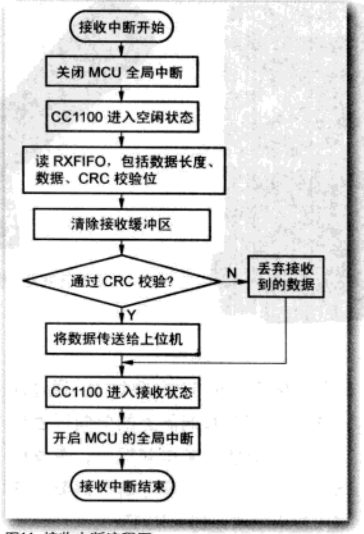


图11 接收中断流程图

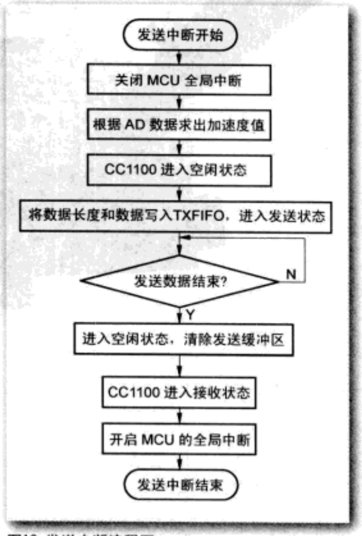


图12 发送中断流程图

的具体流程如图10所示。

（1）ATmega48 的初始化

在无线模块中，使用了 ATmega48 的许多内部资源，包括通用 I/O 口、SPI 接口、UART 接口和 INT0、INT1 等，在初始化程序中，必须按照需要对这些资源进行合理的初始化，否则可能导致异常或出错。

（2）CC1100 的初始化

在初始化程序中，需要对CC1100进行配置，在不同速率下CC1100有不同的配置，为了获得最佳性能，有些配置必须经过复杂的计算才能获得。Chipcon公司提供了SmartRF Studio软件对有关的寄存器进行最佳配置，针对某一个速率，该软件会自动提供一组最佳的寄存器配置参数，程序员只需在初始化时把这些配置写入相应的寄存器即可，配置只能在CC1100处于IDLE状态下时才能进行。

2. 中断服务程序

（1）接收中断服务程序

接收中断的中断源是ATmega48的外部中断0，INT0与CC1100的GDO0相连，当CC1100接收到一个完整的数据包，GDO0会产生一个电平跳变，从而引发ATmega48的外部中断0。在中断服务程序中，首先读出CC1100接收到的数据，进行CRC校验，然后将通过校验的数据通过UART口发送至PC端上位机，接收中断服务程序的具体流程如图11所示。

（2）发送中断服务程序

发送中断的中断源是ATmega48的ADC中断，当ATmega48通过ADC采集到加速度数据时，就会产生一个ADC中断。在中断服务程序中，首先将AD转换的数据进行处理，得到加速度值，然后通过CC1100将数据发送出去，发送中断服务程序的具体流程如图12所示。

结束语

由MMA7260和CC1100构成的无线加速度采集仪，可以实现加速度数据实时高效的无线采集，并能传输到电脑的上位机软件中进行分析。在此基础上可以进行更深层次的开发，构建一个强大的无线监测系统。

巧用红外二极管无线传送温度数据

◎徐霄飞　李昊　陈冲冲

在电子线路综合设计中，往往会用到单片机间的通信，常用的通信方式有串行通信(如232通信和485通信)，这种通信方式技术成熟，传输速率快，在日常生活中得到较多的应用。笔者在此结合实例介绍了另一种单片机间实现通信的方式——红外通信。红外通信的显著优点就是无线连接，可以给作品添几分神奇。如果采用单工通信，还可以有效地节约I/O资源（仅占一个I/O口）。但是它也有一定的缺点，比如传输距离近（笔者作品有效距离为6m），传输具有方向性，而且传输速率较慢。为了让读者更好地了解单片机间红外数据的传输，笔者设计了一套能够进行半双工通信的红外温度传输系统，并且附上了本人编写的源程序（见《无线电》杂志网站）。

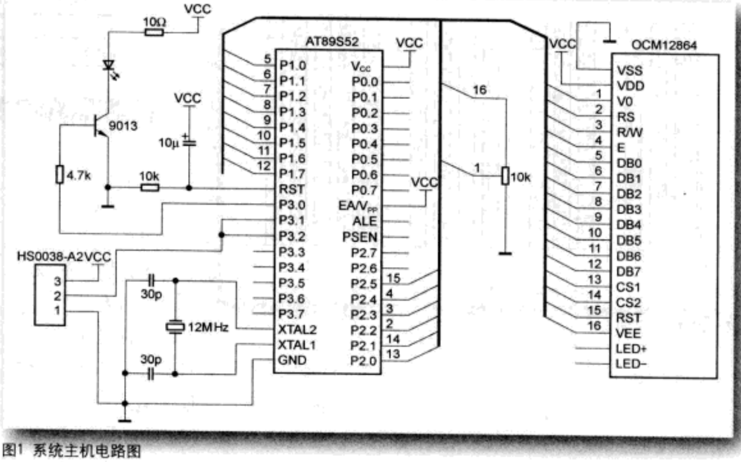


图1 系统主机电路图

作品介绍

主机、从机电路图见图1、图2。本系统采用红外半双工通信，首先主机通过红外发射二极管发送接收数据请求至从机，从机收到发射请求后进行温度数据发射（采用常用的数字温度传感器DS18B20采集），主机接收到数据后通过常用的液晶OCM12864（不带字库）进行显示，然后重复进行上述过程。为提高系统可靠性，采用单片机定时器（也可以采用专门调制芯片）对码元进行38kHz调制，接收端采用型号为HS0038-A2的红外线信号解调器进行解调。

为提高本系统的通用性，使读者能够在本系统基础上更好地进行开发，笔者设计了两个通用模块，即主机解调显示模块和从机调制发射模块。读者只需要改变接入从机的数据(从剩余的29个I/O口输入)，即可实现基于红外线的半双工无线通信。需要采集其他数据时，只需修改从机系统第二片单片机上的程序，不会与负责发送的单片机产生时序上的冲突。本系统中接入数据为另一片单片机通过DS18B20采集的温度信号。

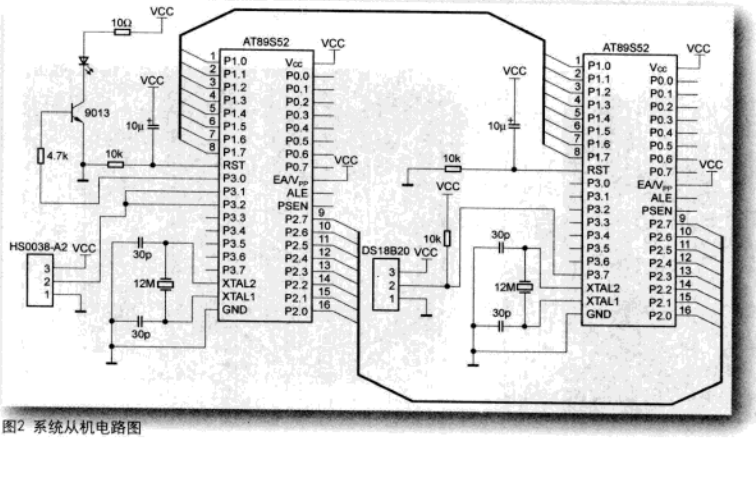


图2 系统从机电路图

实现原理

本系统中红外数据编码规则参考异步通信格式，其波形见图3。

起始位：发送3ms的38kHz的脉冲，接收端对应3ms低电平。

数据位：停发1ms脉冲，然后发

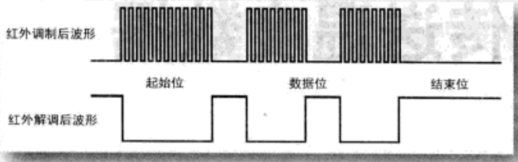


图3 红外调制解调波形图

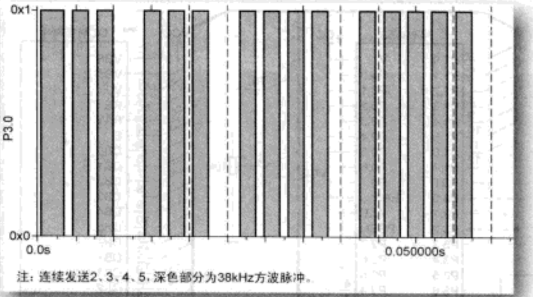


图4 发送端信号波形

图5 主机程序流程图

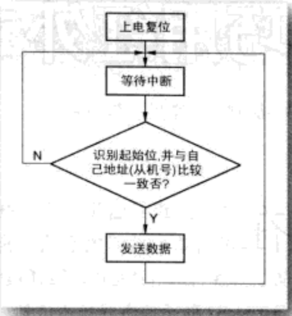


图6 从机程序流程图

2ms的38kHz脉冲，接收端分别对应1ms的高电平，2ms的低电平。

停止位：停3ms及以上，接收端对应3ms以上高电平。

发送端信号波形见图4。

采用单片机定时器 T0 进行编码调制，红外调制信号经 HS0038-A2 解调后，通过单片机定时器 T1 进行计数还原原来数据。软件的流程图见图5、图6，源程序可到《无线电》杂志网站上下载。

制作要点

整个电路不太复杂，我们在万用电路板上搭建，制作好的电路见图 7。

1．如果上电后该系统无法正常工作，可从单片机最小系统入手，逐步排错。此时，注意第31引脚（EA/Vpp口）要接高电平（读内部存储器）。如果是复位电路的问题，可以通过给第9脚（RST口）人为接高电平（51单片机是高电平复位）几秒，观看单片机能否正常工作。如果是时钟电路的问题，大家可以用万用表测量，一般万用表黑笔接地，另一端测得晶体两端电压（直流挡）通常一个是1.7V左右，一个是2.0V左右，否则不正常。大家也可以加载某些小程序，比如令某几个I/O口置低电平，某几个置高电平来测试单片机最小系统是否正常。如果使用P0口作为I/O口，必须接上拉电阻（2~20kΩ），否则P0口无法按照你的意愿工作！另外，当所接元器件较多，或三极管、集成电路等接反，很容易造成系统电源电平被拉低到0.7V或者低于单片机正常工作电压，此时大家可以用万用表测量一下。

2．由于红外发射接收比较抽象，调试过程中要用到示波器。通过模拟示波器，大家可以看到红外发射调制信号与解调后的信号，如果信号不稳，可以调整示波器的触发。当然，用数字示波器观测，效果会更好。如果示波器观测不到，说明红外发射二极管未发射或者由于某种原因接收二极管未收到信号。一般情况下，只要红外发射二极管发射出38kHz左右的红外调制信号，且在有效距离内无遮挡物和干扰，接收端总能解调出脉冲信号，剩下的就是主机识别与计数问题了。注意：红外接收器的电源端与接

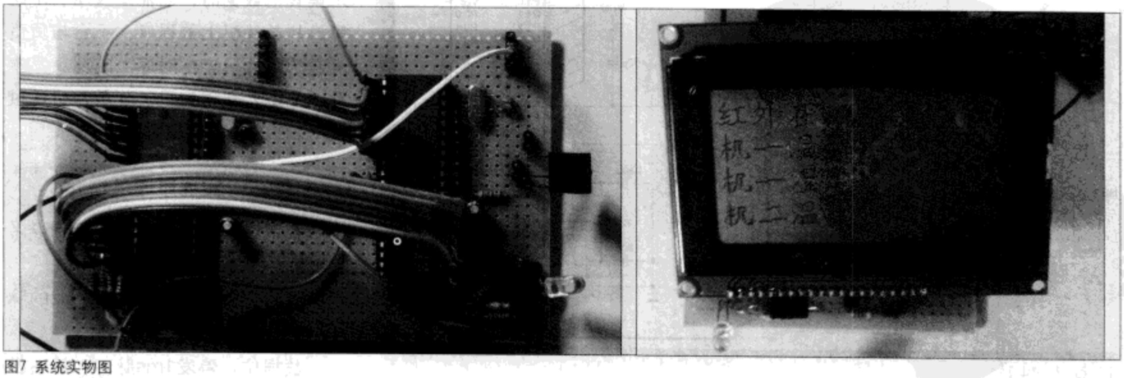
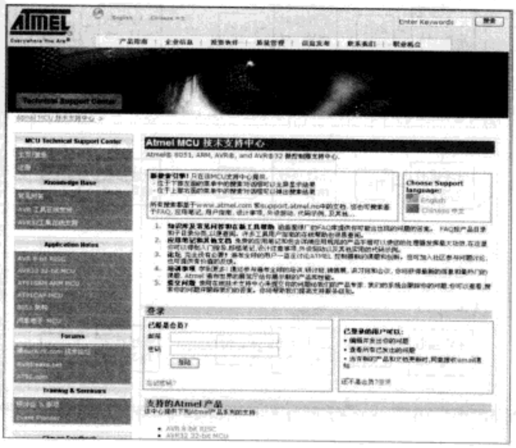


图7 系统实物图

ATMEL正式为中国客户开通AVR/AVR32在线中文技术支持

◎资料室

为了更好地服务与日俱增的中国市场，ATMEL公司于2009年6月18日为中国的AVR/AVR32用户正式开通了中文网上在线技术支持通道。企业与个人客户均可以登陆官方网站通过MCU支持中心（http://support.atmel.no/bin/customer?customerLang=zh）或者直接向电子信箱avr.cn@atmel.com、avr32.cn@atmel.com发送邮件来享受母语技术支持。任何有关AVR/AVR32及相关软件、工具的问题，都将获得及时、准确和有效的回应。



ATMEL公司是世界上先进半导体产品设计、制造和行销的领航者，产品囊括了微处理器、可编程逻辑器件、非易失性存储器、安全芯片、混合信号及RF射频集成电路，触摸技术解决方案和智能电池等多个领域。

近年来，凭借着高性能、低功耗、低成本、易开发等卓越特性，ATMEL在1997年正式推出的AVR系列微处理器在8位和16位市场逐渐占有了可观的市场份额，在中国市场更是家喻户晓。为了更好地服务本地客户、推广新近推出的AVR Xmega、AVR32和Smart Battery芯片，ATMEL公司从2008年开始，在中国上海逐步组建和训练了一支经验丰富、熟悉中国市场、由本地的工程师所组成的AVR/AVR32应用团队。经过充分的准备和测试，这支团队于2009年6月18日正式获准面向中国客户提供中文技术支持。

地端千万别接反！此外，与红外发射二极管串联的电阻最小可取10Ω，由所选型号的红外发射二极管的功率大小决定。

3. 由于本系统主机中断函数处理较长，需要识别不同的信息，大家调试时可以通过引入某些I/O口指示进行测试，例如起始位能够正常识别，可以令P3.4置0，如果成功进入数据接收服务程序，可以令P3.5置1等。通过指示，可以找到系统程序不能正常工作的位置，并进行处理。当然，如果有仿真器，调试就更方便了。

4. 如果上电时，LCD屏幕较黑或者很淡，看不到显示信息，很可能是由于LCD调整电压取值不当造成的，只需要调整LCD所接10kΩ电位器即可。另外，更换电池或电源时，也可能出现上述情况，这是电源电压发生变化引起的。LCD焊接时，加热时间不要持续过长，烙铁不要漏电，以免损坏LCD。

5. 如果液晶显示乱码，很可能是由于所选字体大小以及液晶多个显示字段地址重叠造成的，大家可以通过调整chn_disp函数参数来设置每行显示的字数、显示位置等来解决上述问题。本系统选用的字模生成软件为常用的“zimo221”，大家可以非常方便地从网上下载到。本作品相关设置参数为：楷体_GB2312、常规字形、大小11号、字节倒序、纵向取模（OCM12864为纵向显示的）。

6. 为减少焊接量，同时也为了增加本模块的通用性，本系统中数据传送和接收口均引出了排针，同时各模块间通过排线相连，进行简单拆拔，可实现模块的重新利用。

7. 为方便温度信号的调试与使用，可以用导线将DS18B20引出。注意导线与DS18B20连接处要用胶布绝缘并固定好。如果出现温度示数值比较离谱（比如80多摄氏度），很可能是由于导线与DS18B20未接触好所致。另外市场上也有已经用导线引出的可测水温的DS18B20传感器，大家可以试一下。

结语

本实验通过红外半双工通信实现了单片机之间的相互通信，电路简单、通信可靠，程序具有一定的通用性，读者可在这两个通用模块基础上快速灵活地进行二次开发，实现更多功能，比如多点信号采集、红外控制、红外抄表等。

无线电铃的制作与使用（上）

◎黄桂梅　刘永立

随着教育事业的发展，很多院校都有多个教学场所，且相距较远，甚至有的要跨越公路河流等，这样，采用传统的由逻辑电路控制的有线方式的电铃控制显然安装不便，只能是各自独立建立电铃系统，“各吹各的号”。另外一般院校作息时间种类都不是一种而是多种。如办公时间、理论教学时间，对于职业院校还要设有区别于理论教学的实训教学时间等。显然，若用有线电铃实现统一控制，分时打铃，无论是架线施工，还是逻辑控制都会增加不少麻烦。采用无线电铃系统则可以较好地解决上述难题。

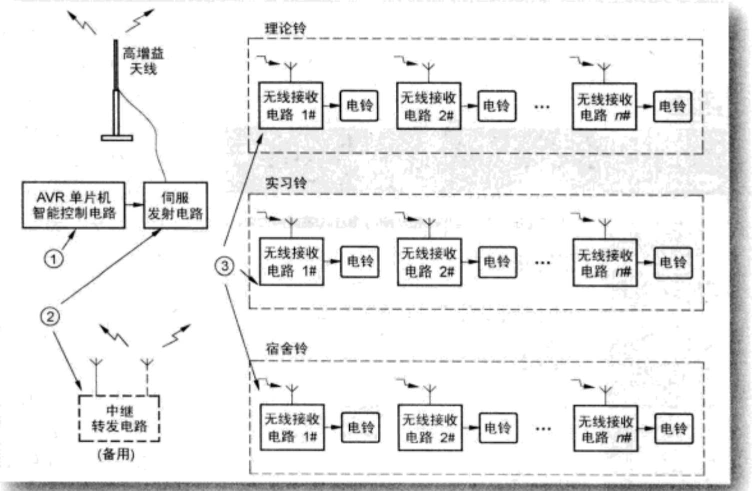


图1 无线电铃控制系统框图

无线电铃控制系统的指标与功能

1. 智能控制器的技术指标与功能

液晶汉字显示作息时间及控制信息，方便操作与使用，时钟走时误差每月不大于2秒。

内部预制了夏时制及冬时制打铃信息，可一键切换，系统默认夏时制。

可灵活进行时钟调整，有调时、调分按钮。

掉电后时间信息不丢。

图2 无线电铃控制系统实物图

有作息时间巡检功能（上午或全天）。

打铃时刻可手工预制。

打铃铃响时间可手工预制（7～15秒默认12秒）。

为防止其他人随意操作，设有键盘自动锁定功能（不操作1分钟后锁定）。

有一键对表（秒清零和分进位）功能，为方便对表该功能不被锁定。

可智能控制四路电磁隔离式输出，输出占空比可调。

2. 无线接收器的指标与功能

可通过跳线选择4种不同控制编码。

可输出3路控制信号，理论、实习、宿舍。

有定时测试信号，可随时观查接收电路运行工况。

有铃响时间同步信号，可保证各楼层间的电铃铃响时间保持一致。

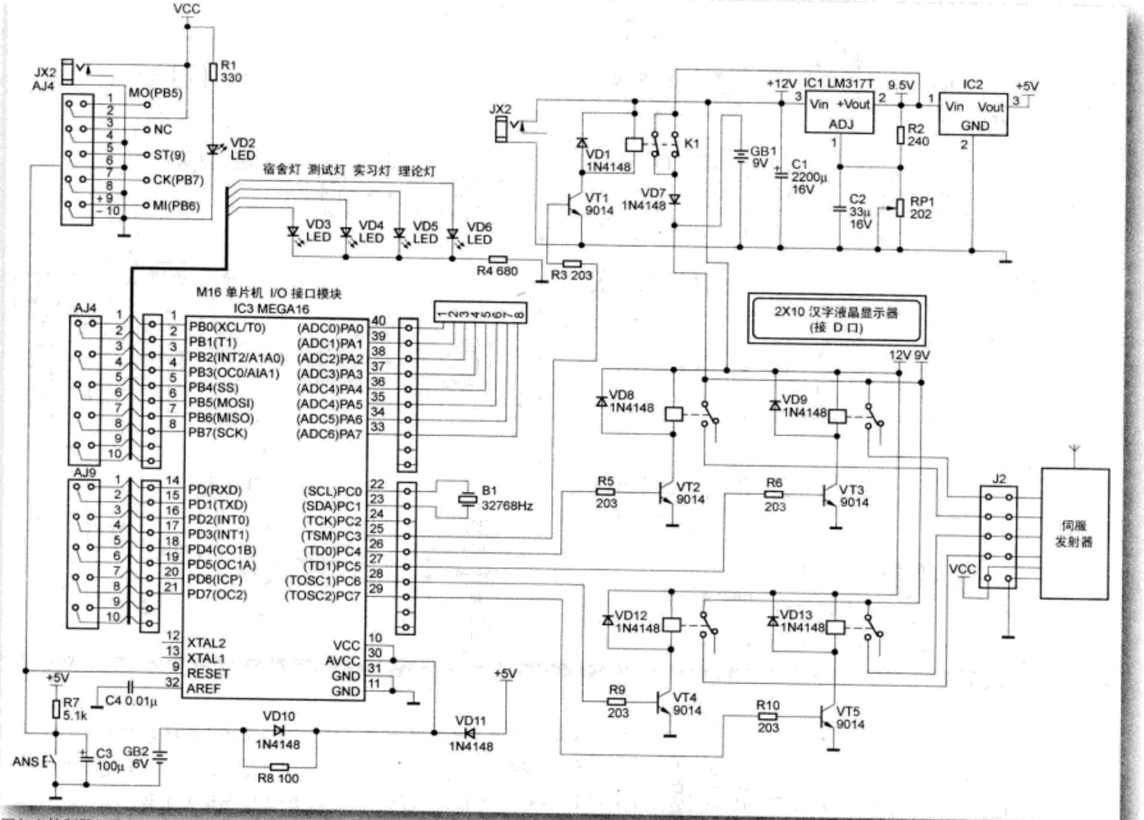


图4 主控制器电路图

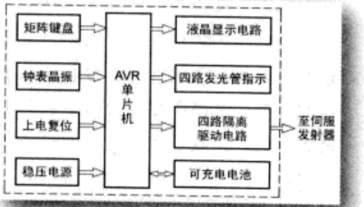


图3 主控制器方框图

无线电铃控制系统的设计

1. 系统硬件构成

图1所示的无线电铃控制系统主要包括控制器、伺服转发或中继转发器和接收器三大部分。实物图见图2。

控制器根据预先设定的作息时间表进行工作，当控制时刻一到，产生短脉冲（2～3秒）控制信号，该信号控制电磁继电器的通断，间接控制伺服发射器或中继转发器的编码开关。伺服发射器或中继转发器再根据编码开关动作发出不同编码的无线电调制（FSK方式）信号，该信号通过高增益天线向空间发出。安装在各楼层的无线接收器收到其对应控制信号后，启动电磁继电器接通电铃发出声响。

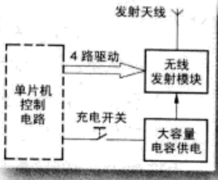


图5 伺服发射器原理方框图

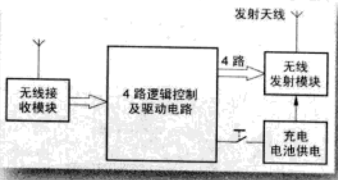


图6 中继转发器原理方框图

（1）主控制器设计

图3所示为控制器方框图，其主要作用是根据设定的作息时间可以输出4路打铃控制信号并通过图中的“四路隔离驱动电路”驱动伺服发射电路发出高频无线控制信号。为减少电源对伺服发射电路的干扰，发射期间单片机智能控制电路将充电开关（见图5）切断，使伺服发射电路的电源由储能电容提供能量，发射结束后，单片机智能控制电路自动接通电源为储能电容补充能量。

图4所示为控制器电路图，控制器

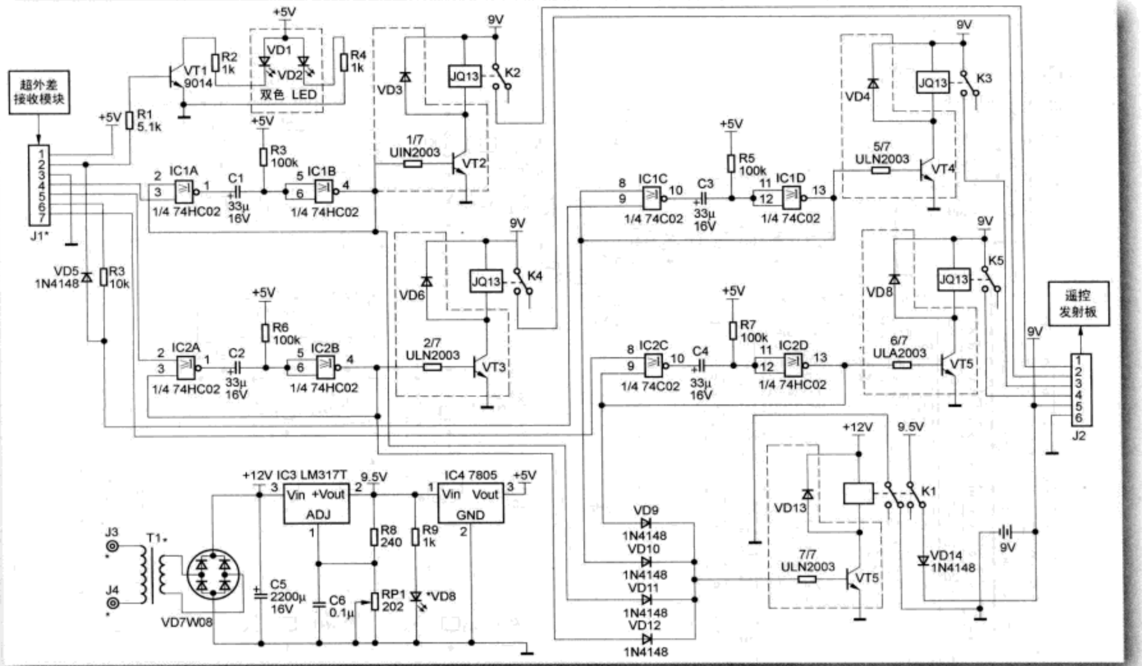


图7 中继转发器电路图

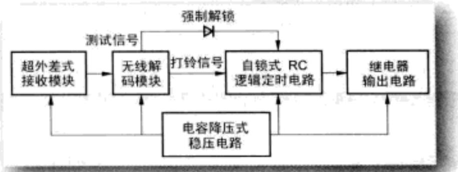


图8 无线接收器原理框图

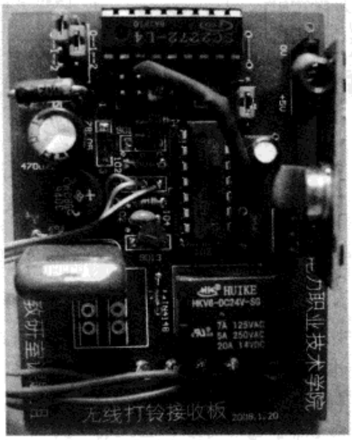


图9 无线接收器主要器件及外观图

的核心为高速嵌入式AVR单片机。为提高可操作性，参数设置采用4×4矩阵键盘，为保证时间的准确性，作息时间控制所用的时基采用32768Hz钟表晶体，为增加可读性，液晶显示器采用2×10汉字模式，该液晶显示器有背光电源，在夜间也能清晰显示控制信息，为增加使用寿命提高抗干扰能力，其4路输出均采用进口高灵敏继电器进行电磁隔离控制， 4个发光管用来指示继电器输出状态。系统正常时使用交流电源经降压整流转换成直流12V供电。系统掉电后内部装有锂电池，提供给单片机芯片，可保证在几天内实时时钟信息不丢。为方便使用，在软件设计时可预存夏时制和冬时制作息时间。

(2) 伺服发射器与中继转发器设计

伺服发射器、中继转发器的原理如图5、图6所示。伺服发射器与中继转发器是无线发射的重要部件，其合理的选用对发射距离、发射稳定性、控制功能的实现等至关重要。

发射频率的选用：目前民用无线发射频率常用的有很多，如36MHz、150MHz、315MHz、413MHz等，选用频率过低势必会增加无线接收电路天线的尺寸，过高则高频分布参数对电路影响变大。我们选用的发射频率是315MHz。

编码芯片：选用市面流行的PT2262/2272，该芯片是台湾普城公司生产的一种CMOS工艺制造的低功耗、低价位、通用编解码电路，选定4路控制码输出。采用点动式工作模式以适应无线电铃工作特点。其发射码有3的8次方6561种，选其中一种编码以增加保密性、提高抗干扰能力，发射和接收编码可用开关设定。发射天线则采用高增益315MHz玻璃钢全向天线。

发射功率：选择应适当。过大，

成本增加，会产生无线污染；过小距离近工作不可靠。为此，发射峰值功率限制在1W左右，发射空间的直线距离不小于4km。虽然学院校园半径一般在1km左右，但考虑到在楼内接收，楼体内钢筋框架会影响有效发射、接收距离，所以要给出一定余量。

需要较远距离传送时，如主教学场所到其他教学场所，可采用图6中所示用中继方式解决。图7所示为中继转发器的电路图。

(3) 无线电铃接收器设计

图8、图9、图10所示为无线电铃接收器的设计与制作相关图示。

超外差式接收模块将发射电路发出的经无线编码的微弱信号进行超外差式放大，然后由无线解码模块对4路控制信号进行解码，解码后再由自锁式RC逻辑定时电路对解出的控制信号进行铃响时间定时。定时时间的长短由RC时间常数及无线解码模块给出的测试信号决定，要求RC时间常数略大于测试信号，让测试信号提前干预RC充电过程，这样，定时时间统一为测试信号发出的时间。如上所述该时间可以通过单片机智能控制电路的矩阵键盘设定（默认12秒）。

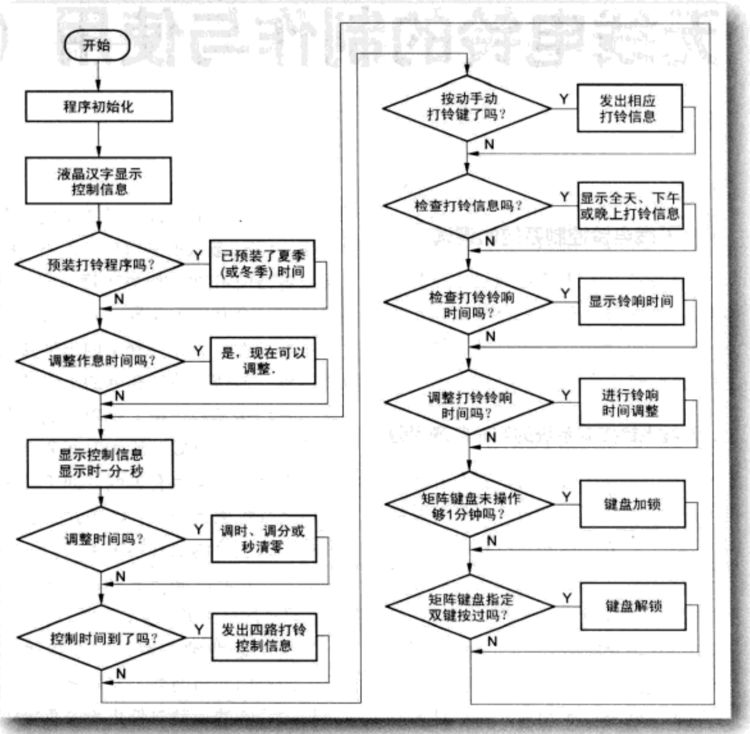


图11 AVR单片机智能控制电路软件工作流程图

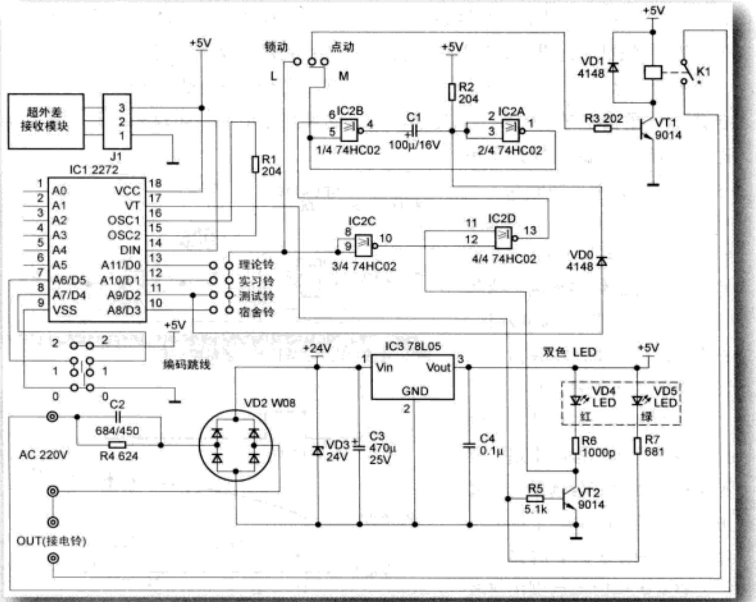


图10 无线接收器电路图

无线电铃接收器中的接收模块有超外差式和超再生式两种型号可选，前者有更好的灵敏度和选择性，无线解码采用2272通用无线解码器，该芯片有更优的性价比。继电器采用优质密封结构，其接点容量设计时留有较大的冗余，可大大延长其使用寿命。接收电路的电源采用电容式降压供电方式，以减少体积并降低制作成本。

2. 软件设计

软件工作流程如图 11 所示。为方便使用，在单片机内部可预存夏时制和冬时制作息时间。系统默认夏时制，冬夏时制的切换由一个键即可转换。

无线电铃的制作与使用（下）

◎黄桂梅　刘永立

无线电铃控制系统的调试

无线电铃控制系统设计完成后，经过多轮的试验研究，终于成功地安装并且投入使用。下面谈谈在调试中遇到的问题和解决的对策。

1. 无线电铃控制系统的实时监测问题

为了监测无线电铃是否存在丢失控制信号的问题，在单片机控制系统中应有一个监测信号，打铃信号可以间接作为检测信号。但有一个问题，打铃信号一般时间间隔很长，如课间最短也要十分钟，不方便。因此在4路信号中单独设有1个检测信号，检测信号的时间间隔过长则失去监测意义，过短则影响发射电路的寿命。所以，选定白天每分钟一次，夜间（23点～5点）为一小时一次。打铃时刻规定为相应分钟的第0秒，监测信号规定为每分钟的第12秒（可调）。实际上，打铃时刻即为单片机发出的铃响的启动时刻，监测时刻则为单片机发出的铃响关闭时刻。由上可知，监测信号具有两个作用：一是每分钟发出无线检测信号，二是如果有打铃信号（第0秒时刻出现），则监测信号（第12秒时刻出现），起到铃响关闭作用。

2. 接收器铃响时间的控制

铃响时间的长短应适当，且要能调节，一般7～15秒。铃响时间电路的实现可以有两种方案：一种是在接收电路中用与RC时间常数为时基的逻辑电路实现。第二种用单片机分别发出无线控制信号来控制铃响和铃停的时间。第一种方案如图12中自锁式RC逻辑定时电路所示，该电路优点是可靠性高，但RC参数的分散性大，不同的接收电路使用的RC数据尽管一样，但铃响时间会有很大差异，有的会相差2～5秒不等。在同一楼层内出现楼上铃已停，但楼下铃还在响的不协调现象。采用第二种方案，用单片机控制铃响时间，可以做到铃响时间完全一致。但这种方案也有弊端：即不能保证由于某种因素干扰，由单片机发出铃响关闭的控制信号不被丢失。一旦丢失，则铃响时间无法停止，这将会对教学秩序产生更严重的干扰。

把上述两种方案进行有机地结合，问题即迎刃而解。其思路是：单片机对铃响的启动与停止不去直接驱动输出电路，而是通过可靠性高的“自锁式”RC逻辑定时控制电路进行。如图12所示，测试信号通过二极管接入自锁式RC逻辑定时电路中。首先，单片机发出“响铃信号”，通知自锁式RC逻辑控制电路进行RC自锁延时，RC延时的时间要大于单片机控制的铃响关闭时间。这样，单片机提前发出铃响关闭时间（测试信号）的控制信号，通过控制线中隔离二极管VD0产生高电平，强制将RC充电延时时间提前结束。继而发出铃响关闭信号，从而实现了铃响时间完全与单片机无线控制脉冲同步。接收电路一旦因某种干扰没有收到单片机发出的铃响关闭信号（测试信号），则RC充电电路继续进行，略推迟些时间后则由接收电路中的RC逻辑控制电路来最终关闭铃响时间。其动作过程中的控制脉冲时序如图13所示。

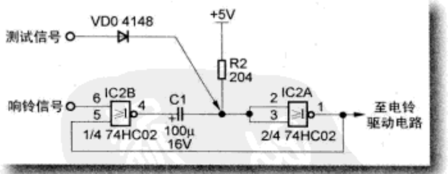


图12 接收电路中的响铃时间逻辑控制图

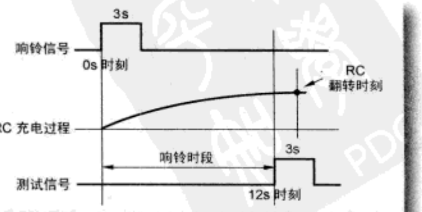


图13 脉冲时序图

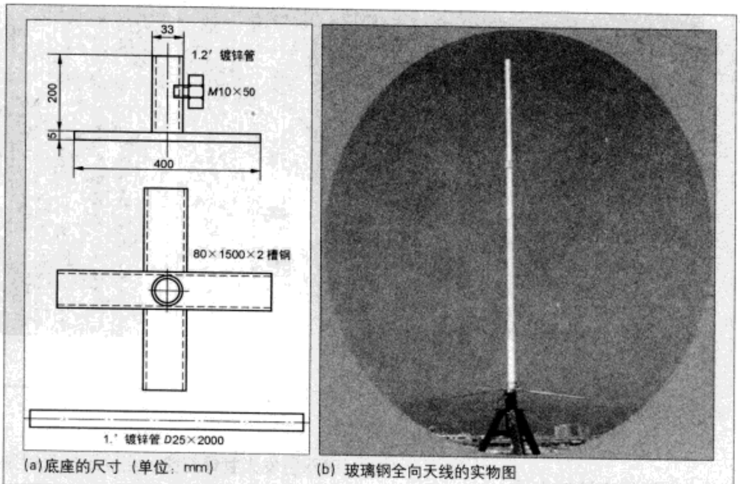
3. 发射器工作电源的选用

发射器工作在高频载波调制方式，瞬时发射，对直流工作电源又有严格要求，选用不当，轻则传输距离变近或不能解码，重则导致发射功放器件的损坏。其发射时的峰值电流在1A左右，因此，配用的电源必须具有较低的内阻，并能输出1A左右的额定电流。如果电源内阻高会导致功率减小或寄生低频自激而造成传输距离变近。在几种不同电源测试中，开关电源尽管有较低的内阻，但开关调制会产生较多的谐波，对发射模块产生寄生调制使发射距离大打折扣。交流电经直流稳压供电效果较好，但来自交流电系统的干扰及其整流、滤波后产生的残余纹波等对发射都有一定影响。效果较好的是容量在500mAh以上的可充电电池，如镍氢电池。在最初

的设计中采用了9V镍氢可充电电池，并由单片机自动进行充放电的切换，即在发射模块工作期间（3秒），单片机切断充电电路，由镍氢电池单独供电。当发射模块不工作时，单片机接通充电电路，给电池补充电能。但镍氢电池也有一定的使用寿命，尤其当充放电不符合要求时会缩短其寿命。考虑到发射模块具有短时工作（<3秒）的特点，通过试验最终采用多只大容量的电解电容并联取代镍氢电池，经数月运行实践效果很好。

4. 天线的合理选用

实践证明，影响无线发射与接收距离的因素很多，其中天线的合理选用可以起到事半功倍的效果。无线电铃系统具有一发多接的特点，为保证发射、接收距离有足够的冗余，发射天线只有一个，所以可以选用最好的。本设计选用了高增益玻璃钢全向天线，实测驻波系数小于1.15，架设位置应尽量放在教学中心楼群的最高点。考虑到电铃系统接收电路多，并安装在楼层内，可采用自制的内置天线，即用1/4波长单股塑料线缠绕。这样处理既简单又能满足接收灵敏度要求。但是，在个别的教学楼群的死角，如与发射方向纵向坐落的教学楼一层和二层信号很弱，尤其一层除了楼房建筑内纵横交错的钢筋结构外，其玻璃窗上的金属防盗栏也减弱了电磁波的传递强度。在实践中试用了三种方案，第一种适当提高发射功率，效果不明显，除非功率加得足够大。这样除了会增加较多的成本外，会使系统运行工况发生明显变化，增加了不稳定性。第二种加装中继转发，传递环节的增加会降低系统的可靠性。故选择第三种方案：更换接收天线。在实践中，一层信号弱，加装了高增益鞭状天线，二层信号较弱，加装了1/4波长的吸盘天线，从而较好地解决了问题。



(a)底座的尺寸（单位：mm）　(b) 玻璃钢全向天线的实物图

图14 高增益玻璃钢全向天线

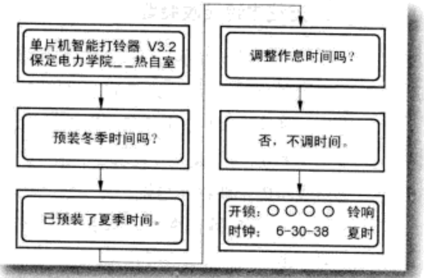


图15 控制器初始化显示过程

图16 矩阵键盘功能键

无线电铃的安装使用

1. 发射天线的安装

发射天线安装对正常发挥天线作用至关重要，高增益玻璃钢全向天线总长有2m多，为保证其稳固性，其底端托架的尺寸不能太小，采用槽钢做底座，镀锌管做支架，高增益玻璃钢全向天线插入后拧紧即可。参考尺寸如图14(a)所示。安装位置尽量在楼群的较高处，玻璃钢天线引线处至地面距离不得小于1m。高增益玻璃钢全向天线可参考图14（b）。

2. 主控制器的安装与使用

（1）接通电源，要求电源DC 12V，0.5A。

（2）调表：在接入DC 12V电源后，液晶显示器背光自动点亮，不进行任何操作时显示过程如图15所示。若进行时钟调整则采用矩阵键盘进行小时和分钟调整，调至所需时间，如图16所示。

（3）对表：如果实时表不准可使用矩阵键盘的对表功能，方法如下：当时钟快3秒时，可直接按动矩阵键盘右上角按键，秒清零。当时钟慢3秒时则需时钟走到57秒时再按动秒清零此时秒信号被清零，分钟自动进1。

（4）合上无线打铃控制器右侧开关，将内部备用电池接入。该电池内部设有自动充电电路。

（5）连接天线：用专用天线螺栓与高增益玻璃钢全向天线专用螺母连接。

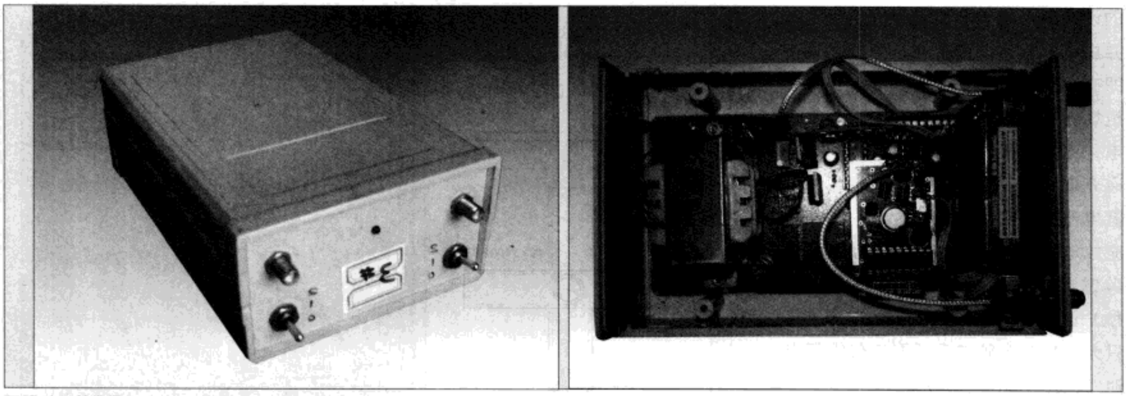


图17 中继转发器

3. 中继无线电铃转发器

该装置如图17所示，在距离发射天线较远、信号过弱时使用，在本系统中仅用于远距离监控。如在家里监控无线电铃系统运行状况等。使用时注意：

(1)接好发射天线：50Ω 同轴电缆。

(2)接好接收天线：50Ω 同轴电缆。

(3) 将发射端拨动开关拨至设定位置，应和接收器编码一致。

(4) 将接收端拨动开关拨至设定位置，应和发射器编码一致。

(5) 接好工作电源 AC 220V，此时双色发光管绿灯亮，当收到信号时则红灯亮。

4. 无线电铃接收装置

如图18所示，该装置用于需要打铃的场合，可分别选择三种被控信号：理论-实习-宿舍。使用时应注意：

(1) 内部设定，见图 18 左上角为接收器内部跳线示意图。

①改变编码跳线与发射端频率信号一致。

如右下角编码1—〉0被连接

②改变输出跳线使之适应不同控制信息，如理论铃、实习楼、宿舍等。如图所示的中下角“实习”被连接，表明该接收盒只接收发射端发来的实习信号铃。

(2) 外部接线

如图19所示，接收器左侧两个端子接交流220V电源，右端两个端子接电铃。

①机壳固定

接收器上方设有开空的不锈钢板，可接入M4的固定螺栓。

②运行测试

接入电源后，接收器输出指示灯绿灯常亮，表明电源已接入，每过1分钟时绿灯灭红灯亮，表明信号接收正常。用便携式发射器发出理论或实习信号时铃响。

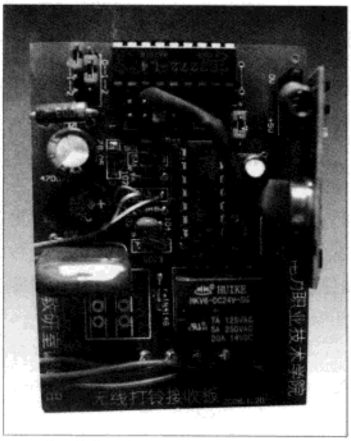


图18 信号接收器内部器件图

图19 无线电铃接收器外接线图

结束语

基于AVR单片机的无线电铃控制系统设计与实践是一次有实用价值的尝试，在该项设计与实践应用中，把无线电传输、无线电控制技术与AVR单片机的智能控制技术、逻辑电路的控制技术等有机的结合起来取得了预期的效果。目前无线电铃系统经过实际运行，效果良好。

PIC单片机最新编程器/调试器PICkit3初体验

◎刘作新

2009年5月8日，星期五，笔者的心情格外地好，因为这一天终于收到了微芯公司寄来的PIC单片机最新开发工具PICkit3，我对“她”已是心仪已久了。PICkit3是微芯公司2009年1月才开始发售的PIC单片机开发调试工具，它能够对微芯公司的绝大多数闪存型单片机进行在线编程/在线调试，是一款低成本开发工具。由于刚发布不久，在国内市场很难见到她的“芳影”，今天终于可以一睹芳容了。

PICkit3全家福

打开PICkit3的包装，笔者眼前一亮，穿着红色外衣、身材小巧的PICkit3编程器/调试器让我的视线舍不得离开她，她的身材只有汽车遥控器大小，令人爱不释手。目前PICkit3是以工具包的形式出售的，除了PICkit3编程器/调试器外，在包装内还有以PIC18F45K20 MCU为核心的演示板一块、USB通信电缆一根、快速使用说明书一张、CD-ROM光盘一张。图1是PICkit3的全家福合影。

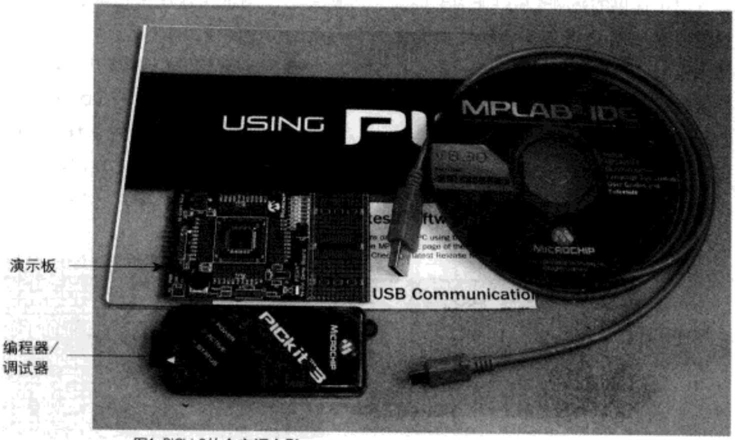


图1 PICkit3的全家福合影

1. 主角出场——PICkit3编程器/调试器（以下简称PICkit3）

PICkit3的靓照特写如图2所示，主机采用红色透明的塑料外壳，透过外壳可以看到内部的电路板及上面的贴片元器件。由于主机非常小巧，可以穿上挂绳随身携带。

有挂绳孔的那一边有Mini-USB B型接口，用来与电脑进行联机通信。此接口的对面另一个短边有在线编程/调试接口，用来连接目标板（设备）。在线编程/调试接口为单排6芯插座，插座采用标准的2.54mm孔距。这个接口遵守微芯的ICSP协议。

主机上有3个指示灯，分别是电源指示灯（POWER）、活动指示灯（ACTIVE）、状态指示灯（STATUS）。当PICkit3通过USB电缆与电脑连接，即从电脑获得供电时，

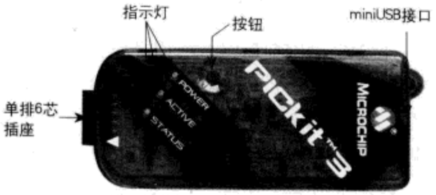


图2 PICkit3的靓照特写

电源指示灯点亮，发出绿光。当PICkit3刚上电或与目标板连接时，活动指示灯点亮，发出蓝光。状态指示灯为三色发光管，发绿光时表示PICkit3处于正常的工作状态或等待状态，发黄光时表示PICkit3工作忙，例如对目标器件烧写、调试期间，当状态指示灯变为红色时，表示PICkit3的工作出现了错误。

主机上的按钮在PICkit3的使用手册上标明为“将来使用”，在文章的后面我将对此按钮的功能进行解释。

2. PICkit3的好搭档——以PIC18F45K20 MCU为核心的演示板

演示板的实物照片如图3所示。在演示板上安装了一片44引脚TQFP封装的PIC18F45K20单片机。演示板通过单排6针插头（即编程/调试接口）与PICkit3连接。演示板上预留了两组晶体的焊接位置，还有一小块贴片元件的焊接区域，用于用户焊接元件进行扩充实验。板子上焊装了8只红色贴片发光二极管，连接于PIC18F45K20的RD端口，用于充当8路负载和显示。一个电位器连接到PIC18F45K20的RA0/AN0引脚上，作为外部模拟信号的输入。一个按钮开关连接到PIC18F45K20的RB0/INT0引脚上，作为外部开关量输入和外部中断信号输

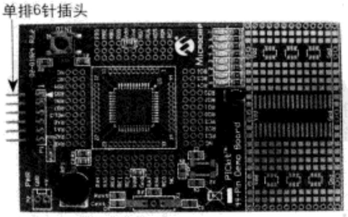


图3 PIC18F45K20演示板

入。PIC18F45K20四周的焊孔用于连接探针，对PIC18F45K20的工作状态进行测试。演示板的电原理图在配套光盘中的c-lesson.pdf文档的附录中。

3. PICkit3的精神食粮——CD-ROM光盘

CD-ROM光盘内包含有免费的MPLAB IDE集成开发软件、用户手册与使用辅导、与演示板配套的C语言课程教材，与教材及演示板配套使用的12个C语言编写的示例程序、多种C语言编译工具软件、有源代码的实例和完整文档。

PICkit3个人简历 ——功能特点概述

PICkit3是一款定位于廉价、低成本的PIC单片机开发调试工具，结合微芯公司免费的MPLAB IDE软件，在电脑上可以在线调试仿真和在线编程，可以在线观测和检验程序运行结果，以方便调试程序并查找程序中的错误等，是设计开发人员和初学者学习PIC单片机必备的开发工具。它的主要功能特点如下：

◆与电脑之间采用USB全速通信，驱动程序为Windows自带的HID USB驱动，因此稳定性与兼容性都比较好。

◆通过USB电缆由电脑供电，不需要额外的电源。

◆可以工作于Windows2000、Windows XP、Windows Vista操作系统下。

◆采用微芯公司的在线串行编程技术（ICSP），能够对微芯公司的绝大多数8位、16位、32位闪存型单片机在线编程/在线调试，也能对dsPIC数字信号控制器（DSC）在线编程/在线调试。

◆通过升级操作系统（固件），可增加对新器件的支持。

◆支持低电压器件的调试与编程，可编程控制的VDD电压可以在1.8～5V调整，编程电压VPP可以在1.8～14V调整。

◆单片机外围功能模块在程序断点处状态冻结功能。

◆内建过压、短路监测保护电路。

◆可以对单片机的程序存储器（Program Memory）、数据存储器（Data Memory）进行读/写编程。

◆可以对单片机内的全部类型的存储器进行擦除并校验，这些存储器包括：程序存储器（Program Memory）、EEPROM数据区、配置位（Configurations Bits）、ID标识字（ID Location）。

软件与硬件安装

1. 首先安装MPLAB IDE集成开发软件，要求软件的版本为V8.20版或V8.20版以上才能支持PICkit3。目前配套光盘中提供的是MPLAB IDE V8.30。该软件的安装过程和其他软件的安装基本相同，这里不再赘述了。

2. 安装配套光盘中的MPLAB C Compiler for PIC18 C语言编译器软件，因为与演示板配套的12个例程都是用C语言编写的，只有安装了C语言编译器才能对例程进行编译调试。编译器软件的安装过程中会出现“配置选项对话框”，此时可以参照配套光盘里c-lesson.pdf文档中的安装配置说明对编译器软件进行配置。如果不对例程进行试验或不用C语言编写程序，则可以跳过这一步，不必安装C语言编译器。

3.通过USB电缆将PICkit3与电脑进行连接。

4.使用通信电缆将PICkit3与目标板（设备）连接起来，之后再给目标板供电。注意上电的顺序是先PICkit3主机，后目标板，断电顺序则反之。关于通信电缆在后面的文章中会作解释，对于PICkit3自带的演示板则不用通信电缆，直接与PICkit3编程器/调试器插接就可以了。

PICkit3才艺展示——实际测试

对PICkit3编程器/调试器笔者选择了3种不同的目标设备进行了实际连接测试，它们分别是：自带的演示板、其他目标板、烧写编程适配器。

1. 与自带的演示板连接进行在线编程/在线调试

PICkit3编程器/调试器与自带的演示板实际连接的照片如图4所示。硬件的连接过程与步骤参照“软件与硬件安装”。测试用程序采用配套光盘中自带的12个例程。

◆启动MPLAB IDE集成开发软件，在主菜单中点击Project→Open→XX.mcp，XX表示打开任意一个例程中的项目文件。例程中的项目文件已经包含了器件类型和配置位信息，所以器件

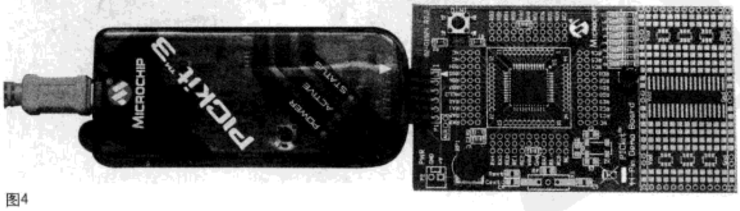


图4

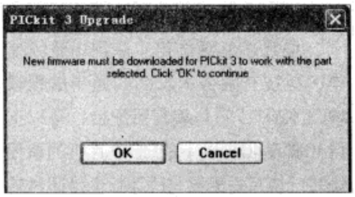


图5 下载新固件对话框

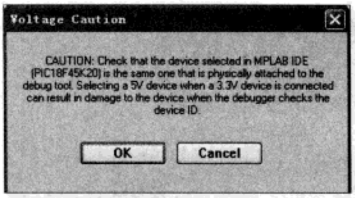


图6 电压警告对话框

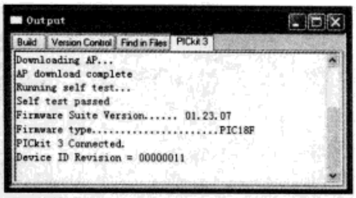


图7 连接成功时的信息

类型和配置位不用在MPLAB IDE中设置了。

◆项目文件打开后，由于MPLAB IDE版本或器件的类型不同，可能会出现下载新固件的对话框，如图5所示，点击OK，过几秒钟后，固件下载完成。之后会出现电压警告对话框，如图6所示，MPLAB IDE会根据器件类型自动选择器件的工作电压，只需点击OK就可以了。

◆器件工作电压选择完成后，PICkit3会与演示板自动建立通信连接，连接成功后在MPLAB IDE的Output窗口中会显示器件ID版本，如图7所示，在Output窗口中还可以看到固件版本和固件类型信息。

◆PICkit3与演示板联机成功后，在主菜单中点击Project→Build All，对源程序进行编译。

◆例程1至例程5是让PICkit3工作在编程器状态，源程序编译完成后，在主菜单中点击Programmer→Program，对演示板上的芯片烧写编程。烧写编程成功后演示板会按照程序预定的功能自动运行起来。

◆例程6至例程12是让PICkit3工作在调试器状态，在对源程序编译完成后，在主菜单中点击Debugger→Program，对演示板上的芯片烧写编程。烧写编程成功后，在主菜单中点击Debugger→Run，演示板会按照程序预定的功能运行起来。

PICkit3与自带的演示板毕竟是一家人，亲密无间，配合默契，工作起来非常稳定。12个例程通过PICkit3对演示板的在线编程与在线调试功能，在演示板上全部运行正常稳定，从而证明了PICkit3的在线编程与在线调试功能正常稳定。

2. 与其他目标板连接进行在线编程/在线调试

上面对PICkit3的测试是与自带的演示板之间的协同工作，兼容性自然不错。这次的测试是与深圳市乾龙盛电子科技有限公司出品的PIC单片实验板MCD-DEMO连接，进行在线编程/在线调试。这个实验板为PIC16F87X系列或其他PIC的8位单片机系列之28/40引脚芯片的各个功能模块提供了相应的实验电路，以便用户调试和验证，出厂时配置了一片PIC16F877A芯片。

MCD-DEMO实验板与编程器/调试器之间的通信接口为RJ-11插座，二者通过两端都是RJ-11水晶头的6芯扁平电缆连接，这也是微芯公司单片机开发工具与目标板（设备）常用的一种通信接口连接形式。PICkit3的在线编程/调试接口为单排6芯插座，因此与MCD-DEMO实验板无法直接连接，需要通过一个6芯插座到RJ-11插座的转接适配器来完成连接工作。这个转接适配器在微芯公司的设备编号是AC164110。其实只要知道了PICkit3的在线编程/调试接口的引脚定义，以及RJ-11插座的引脚定义，将定义相同的引脚连接在一起即可实现转接任务。PICkit3的在线编程/调试接口的引脚定义如图8所示，RJ-11插座的引脚定义如图9所示，按照这两个图的引脚定义，笔者自制了一个转接适配器，如图10所示。

图11所示即是PICkit3通过自制的转接适配器与MCD-DEMO实验板的实物连接。测试用程序为笔者用汇编语言编写的一个用PIC16F877A单片机控制1602液晶显示屏显示字符的程序，源程序文件名为lcd1602.asm，显示内容为《无线电》杂志的网址：WWW.RADIO.COM.CN。

◆硬件连接，硬件的连接过程与步骤参照“软件与硬件安装”。

◆启动MPLAB IDE集成开发软件，在主菜单中点击Project→Project Wizard，按照项目向导的提示一步一步进行设置，建立一个新的项目。其中器件（Device）选择为PIC16F877A，语言工具组件选择为Microchip MPASM Toolsuite，将lcd1602.asm源程序文件添加到项目文件中。

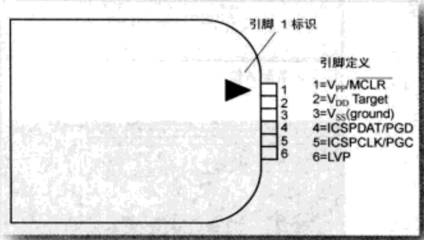


图8 PICkit3的在线编程/调试接口的引脚定义

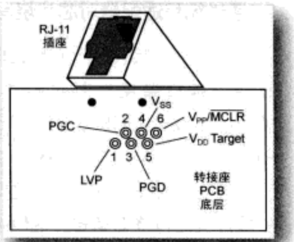
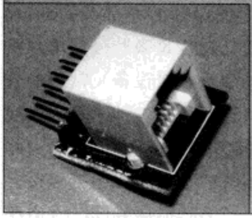


图9 RJ-11插座的引脚定义



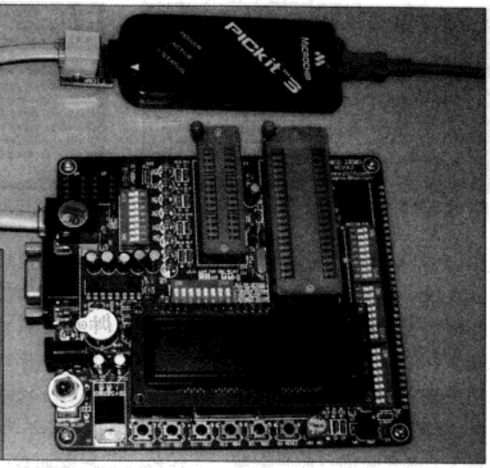


图10 自制的转接适配器

图11 实物连接

◆在主菜单中点击Debugger→Select Tool→PICkit3，由于这次调试的芯片为PIC16F877A，不是PIC18F45K20，即器件类型发生了变化，所以会提示下载新固件，如图5所示。

◆固件下载完成后在Output窗口会出现目标设备检测的提示信息，之后出现电压警告对话框，点击OK，Output窗口中会显示器件ID版本，表示与目标设备连接成功。

◆在项目窗口中双击lcd1602.asm源程序文件，将源程序文件打开。在主菜单中点击Project→Build All，对源程序文件编译，此时会出现Absolute or Relocatable（绝对定位或可重定位）对话框，如图12所示。对于用汇编语言编写的源程序，应当点击选择Absolute（绝对定位）。在编译时出现的Absolute or Relocatable对话框是MPLAB IDE高版本特有的，在低版本的MPLAB IDE中不会出现。

◆为芯片设置配置位。在主菜单中点击Configure→Configuration Bits，出现Configuration Bits对话框，对于本实验中配置位各位的设置请参考图13进行设置。

◆在主菜单中点击Debugger→Program，将编译好的程序烧写进芯片。

◆在主菜单中点击Debugger→Run，程序在MCD-DEMO实验板上运行正常，“WWW.RADIO.COM.CN”显示在液晶屏上，如图14所示。

在调试状态，笔者还打开了寄存器观察窗口，通过单步运行，对一些寄存器数据的更新改变情况进行观察。PICkit3的单步运行速度比较快，点击单步运行按钮后，程序运行指针马上跳到了下一行语句，寄存器数据的更新情况立即可以看到，这一点要比ICD2快，ICD2单步运行点一下要等上几秒钟时间。

从PICkit3与MCD-DEMO实验板的协同工作情况来看，PICkit3对于PIC16F877A芯片的在线调试工作是稳定的，各种调试手段（如设置断点、单步运行等）都得到了很好的支持，并且调试运行速度也比较快。

3. 通过编程适配器对芯片烧写编程

这次的测试是为了验证PICkit3在作为编程器使用时对芯片的支持情况，准备让PICkit3对PIC16F73、PIC16F84A、PIC16F628A、PIC16F876A、PIC16F877A这5种型号的单片机进行烧写编程。这5种型号的单片机是爱好者们常用的型号，也是最普及最容易购买到的芯片。

烧写适配器选用了深圳市乾龙盛电子科技有限公司出品的通用编程模块QL1201，它与编程器配合，可以支持40脚及40脚以下的PIC单片机的编程烧写。烧写适配器与PICkit3也是通过转接适配器连接的，如图15所示。

对芯片烧写编程的步骤如下：

◆通过转接适配器连接PICkit3与烧写适配器。

◆将要烧写的芯片放入烧写插座，将插座锁紧。

◆通过USB电缆将PICkit3与电脑进行联机。

◆启动MPLAB IDE集成开发软件，在主菜单中点击Configure→Select Device，在Select Device对话框的Device下拉列表中选择与将要烧写的芯片对应的型号。如果需要，还要对Configuration Bits（配置位）进行设置。

◆在主菜单中点击Programmer→Select Programmer→PICkit3，选择PICkit3为编程工具。由于器件类型的不同，可能会出现提示下载新固件对话框，点击OK，下载新固件。

◆固件下载完成后，PICkit3尝试

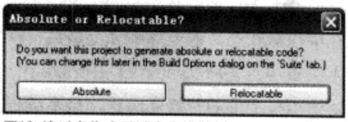


图12 绝对定位或可重定位对话框

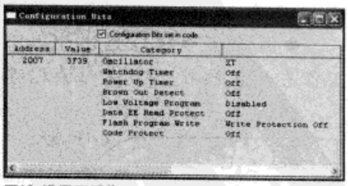


图13 设置配置位

图14 程序运行正常

与烧写适配器连接，这时在Output窗口会提示“PK3Err0045”错误，如图16所示。不用慌，在主菜单中点击Programmer→Settings，出现PICkit3 Settings对话框，点击Power选项卡，将“Power target circuit from PICkit3”勾选上，下面的电压值不要改变，点击确定。之后会出现电压警告对话框，如图6所示，点击OK。这时Output窗口中会显示器件ID版本，参照图7所示，表示与烧写适配器连接成功。

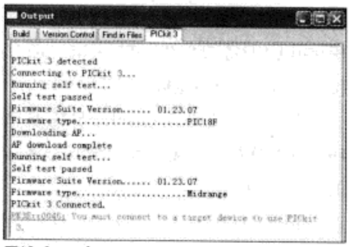
◆在主菜单中点击File→Import，将烧写文件导入到MPLAB IDE的工作区，点击View→Program Memory打开程序存储器观察窗口，在此窗口可以显示出导入的烧写文件。

◆在主菜单中点击Programmer→Program，将烧写文件写入芯片。烧写的时间根据烧写文件的大小在几秒钟到几十秒之间。

经过测试，PICkit3对PIC16F73、PIC16F84A、PIC16F628A、PIC16F876A、PIC16F877A这5种型号的单片机烧写编程全部顺利通过。

使用体会

笔者使用PICkit3只有一个多月，由于客观因素的制约，如手中芯片的种类有限，实验板类型的限制，再加之只能利用业余时间进行测试，因此不能对其在编程/调试时芯片支持程度作全面的测试，只是选取了几种爱好者们常用的芯片，同时也是最普及的芯片进行了测试，所以只能算是初



Output

Build | Version Control | Find in Files | PICkit 3

PICkit 3 detected
Connecting to PICkit 3...
Running self test...
Self test passed
Firmware Suite Version...... 01.23.07
Firmware type......................PIC18F
Downloading AP...
AP download complete
Running self test...
Self test passed
Firmware Suite Version...... 01.23.07
Firmware type......................Midrange
PICkit 3 Connected.
PK3Err0045: You must connect to a target device to use PICkit 3.

图16 Output窗口

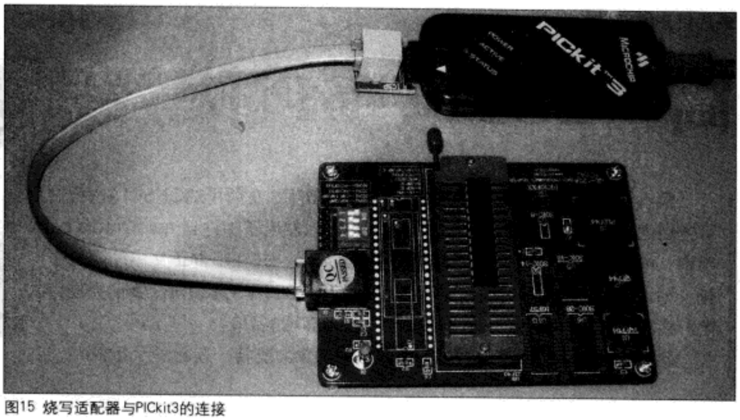


图15 烧写适配器与PICkit3的连接

体验。本文中对PICkit3与不同目标板（设备）的连接及设置过程介绍得比较详细，目的是避免初学者刚开始使用PICkit3时走弯路。下面是笔者在使用PICkit3时的一些体会。

◆小巧廉价的PIC单片机开发工具套件。PICkit3工具包目前在微芯网站上的报价是人民币477.63元。以低廉的价格实现了在线编程/调试功能，与价格昂贵的专业级在线实时仿真调试器（几千元）相比，虽然在调试时占用了目标单片机的片内和引脚中的部分资源，这部分资源在调试期间用户暂时不能使用，但对于一般的项目开发没有太大的影响，是一套具有极高性价比的开发工具套件，非常适合单片机爱好者和初级开发者的学习和实践。

◆后续会支持单片机的脱机编程，即先将烧写文件下载到PICkit3内部的存储器中，之后可以脱离开电脑的“束缚”，独立地由PICkit3对单片机烧写，为芯片的批量烧写带来了便利。PICkit3上的那个按钮就是为此功能做准备的。

◆后续会支持Serial EEPROM与KEELOQ HCS器件的烧写，扩大了其应用范围和对器件的支持种类。

◆配套光盘中的C语言例程经典实用，涵盖了PIC18F45K20内部的大部分功能模块的使用与编程，通过学习研究这些例程，可以很快掌握这些模块的使用方法，从而使初学者在短时间内得到很大的提高。

一点建议

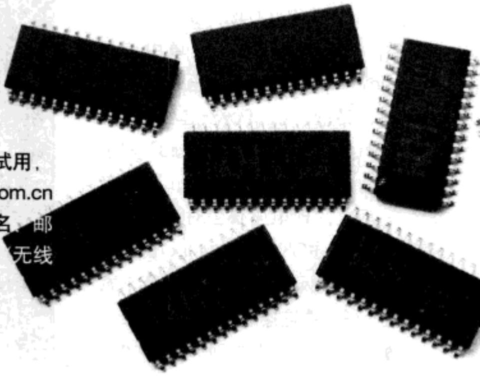
目前PICkit3的使用手册、C语言课程教材都是英文版的，如果推出中文版会大大方便英文不是太好的国内初学者阅读，对PICkit3在国内的推广普及起到促进作用。笔者还想向微芯公司提个建议，那就是MPLAB IDE集成开发软件能否推出中文版本的，因为只要学习PIC单片机，必定要使用MPLAB IDE集成开发软件，对于国人还是母语感觉亲切并且便于理解。而且现在学习单片机已经从青少年开始了，由于PIC单片机具有指令少、便于记忆的特点，在少年宫、科技馆、职业高中都有学习使用的群体，这些青少年的英语水平有限，要是推出MPLAB IDE集成开发软件的中文版，对于PIC单片机在国内的推广普及会起到积极的促进作用，提高PIC单片机在国内的市场占有率。

在本文的撰写过程中，得到了微芯公司北京办事处的熊国兴先生、石朝林先生、微芯公司上海办事处的刘晖女士的大力支持与帮助，在此向他们表示衷心的感谢！

单片机开发工具DIY

简易USB转ISP下载线

◎傅建



编者按：本刊向单片机爱好者免费提供50片本文所用的CH341A进行试用，可方便地制作ISP下载线，感兴趣的读者，可以发电子邮件到radio@radio.com.cn申请，来信主题请注明“USB转ISP芯片申请”，并在邮件正文中注明姓名、邮编、地址、单位和联系电话，申请截止日期为2009年9月30日。我们会在《无线电》杂志网站上（www.radio.com.cn）上公布获赠名单。

此次活动得到了南京沁恒电子有限公司的大力支持，在此表示感谢！

随着科技的发展，电脑的外围接口已变得越来越单一，现在大多数台式主板都把并口、串口等低速接口省掉了，笔记本尤为明显。这种变革对搞单片机开发来说是一件非常不方便的事情，因为单片机程序下载需要用到并口或串口，视不同的单片机而定。如ATmel公司的51单片机和AVR单片机，价格便宜，稳定性高，尤其是AVR单片机，性价比极高，它们通常是用并口ISP下载线对其编程。对于没有并口的个人用户，买专用的USB编程器价格昂贵，划不来。有很多方案是用ATmega8单片机来做的，但开始时也要为ATmega8下载程序，这又增加了制作难度。下面为大家介绍一款实用的USB转ISP下载线，元件极少，制作较易，无需调试，焊好即用，并且稳定性较高。

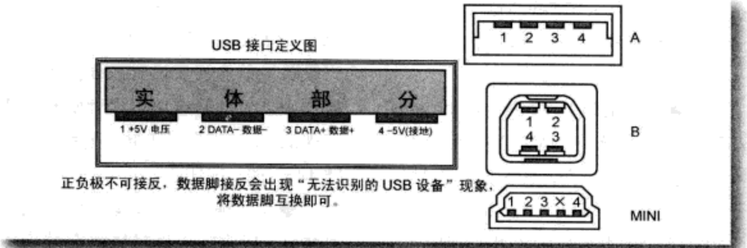


图2

芯片用的是CH341A，它是南京沁恒电子有限公司生产的一款功能强大的USB总线转接芯片，通过USB总线提供异步串口、并口、打印口以及常用的2线和4线等同步串行接口。

芯片引脚分布和下载线电路连接如图1所示。笔者介绍的这款下载线用到的就是CH341A提供的4线同步串口功能。它支持USB接口下载AT89S系列单片机和AVR系列单片机的程序。

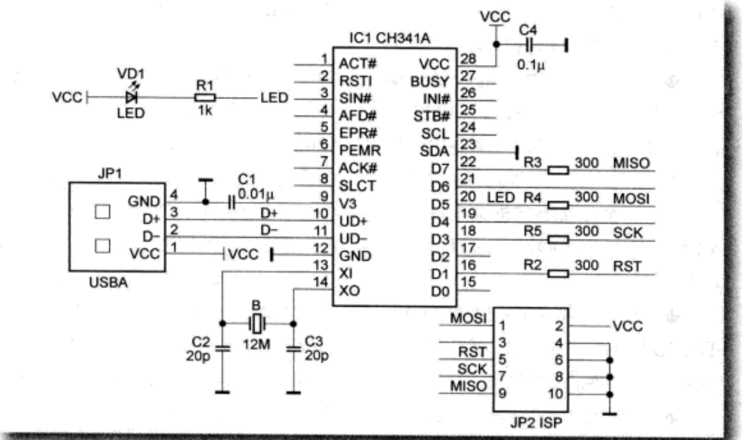


图1

原理介绍

图1中CH341A的第9脚供电电源选择端，在3.3V电源电压时连接VCC输入外部电源，在5V电源电压时外接容量为0.01μF（即103）的退耦电容。这里使用USB接口提供的5V供电，所以接一个103的电容退耦。

第10、11脚连接到USB数据总线，注意连接时不要接反了，USB接口的定义如图2所示。

第13、14脚外接12MHz晶体，为芯片提供时钟。

体验利器 挥洒创意

《无线电》杂志 MICROCHIP 微芯科技公司联合举办 PIC单片机开发工具 赠送 活动

9月，新的学期开始了。为了迎接教师节的到来，《无线电》杂志与美国微芯科技公司（Microchip Technology Inc.）特别准备了5套最新的单片机开发工具包PIC kit3作为礼物赠送给在校师生，助PIC单片机的粉丝们做出更多更好的作品。

PIC kit3是微芯公司2009年最新推出的PIC单片机开发调试工具，它能够对微芯公司的绝大多数闪存型单片机进行在线编程和调试，其人性化的功能让你的开发变得简单和高效，尽情挥洒创作的自由。详细的介绍见本刊2009年第8期。

如果你是在校师生，且使用PIC单片机成功开发过作品，就发电子邮件到radio@radio.com.cn申请吧！来信请附上你的**得意之作**的介绍和下一步的**创作计划**，邮件主题请注明“申请PIC kit3开发工具”，在邮件正文中写明你的姓名、邮编、地址、学校名称及联系电话。申请截止日期为2009年9月30日。

第16、18、20、22脚分别接300Ω的限流电阻做为RST、SCK、MOSI、MISO信号输出。在20脚上加个LED可以做程序下载时的指示。

第23脚要注意了，要把CH341A配置成USB转ISP功能的话，此脚必须接地，否则就是USB转串口功能。

第28脚为电源5V输入，接一个退耦电容，让芯片工作更稳定。

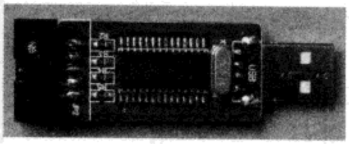


图3

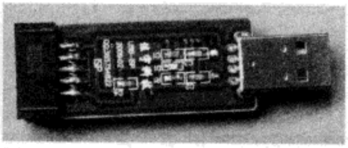


图4

制作说明

由于CH341A是SOP28封装的，自制时用万用板不好焊接，有条件的可以用热转印法制作PCB，无条件的则可以用SOP转DIP的转接板转成DIP之后，再用万用板焊接制作。下载线与单片机连接时注意不要连错了，否则不能下载！笔者画好PCB后到工厂开的板子，制作好后的效果如图3、图4所示。

使用说明

做好之后，如果连接无误，插上电脑，系统会提示安装驱动，驱动可以到wch.cn/download/list.asp?id=64下载，驱动安装好后再到官方下一个下载程序的软件，下载地址为wch.cn/download/list.asp?id=108，这个软件界面如图5所示，它会自动监测下载线的插拔。当显示成功打开CH341设备时就大功告成了！之后的操作就不用我再叙述了，相信大家都会！祝大家好运！

图5

应用ISP轻松入门单片机

◎刘信华

单片机技术的实践性很强。传统的MCS-51单片机教科书，基本上都是先介绍单片机的硬件结构，接着就是111条指令及练习一些编程小技巧等。当你学完这么多指令后，还不知道将来能做些什么？有什么用？大部分学生学不到一半指令后就心灰意冷了，对于自学者更是如此。人们总希望在学习令人生畏的指令的同时，一边通过实践加以验证，要从死记硬背的学习模式中解脱出来，对知识的掌握才会更深刻。条件好的学校虽购置有集成开发环境平台、仿真器和编程器等教学、开发设备，可这些设备每套都要几千元，若每人配备一套，且实验室要经常开放也是一件不现实的事。这无疑给学习者设置了很高的门槛。通常学校为配合教学的进程安排几项实验，像这些机械般任务式的实验，带来的教学效果当然就会大打折扣了。

随着科学技术的发展，芯片生产商为适应市场需求，不断推出新功能。目前宏晶科技公司推出的芯片STC89C51具有ISP功能，可实现在线编程，芯内的电可擦除程序存储器EEPROM可反复擦写几千次，直接与PC机连接就可完成程序的下载烧录，免去了昂贵的专用编程器。利用它制作一块学习实验板，自备一个移动U盘，安装几个必要的开发软件，一边学习汇编语言，一边做实验而不受时间地点限制，可以做到随时随地、随心所欲、轻轻松松地学习单片机。

为实现这个教学和学习目标，采取的方案分为两大部分。

硬件系统

1. 目标电路板

首先要确立一个目标板，既可下载程序，又可运行程序。板上还要安排一些单片机能操控的部件，使运行结果能直观地演示出来。

图1是STC89C51单片机的最小系统，再扩展一些简单的实验应用系统。与其他的学习板相比，该电路结构简单，使用元器件少，初学者很容易读懂，并很快能动手制作。那些价钱不低的商品板虽然功能多多，可设计的电路密密麻麻，看得人眼花缭乱，会大大地打击初学者的自信心。尽管电路简单，但仍可实现如流水灯、中断、定时/计数、与PC机串口通信等实验。也有利于初学者从易到难，循序渐进地去认识单片机的硬件工作系统。

核心芯片STC89C51与流行的ATmel公司的芯片AT89C51完全兼容，内具4KB的Flash ROM（闪存）编程空间。支持在线可编程串行写入技术（当然也支持并行的离线编程），串行写入速度快，稳定性好，烧写电压也低，仅需3.8~5V。可重复烧写几千次，降低了学习成本。在线编程的串行数据输入是10脚（P3.0/RXD）、串

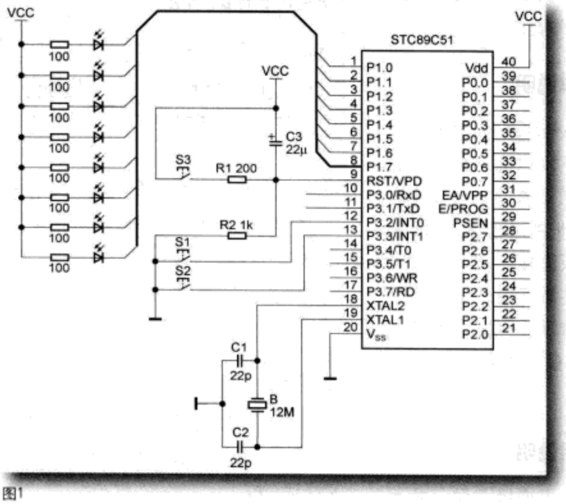


图1

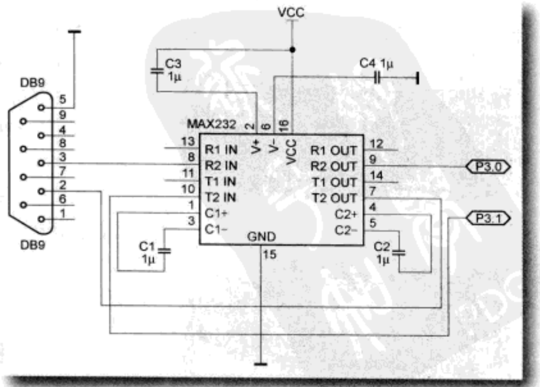


图2

行数据输出是11脚（P3.1/TXD）。出厂前厂商已烧录好了ISP、IAP（在应用可编程）的监控程序，用户只要把自己编好的程序通过下载线烧录进去，单片机就会按用户的要求投入运行。

其中8个发光二极管接P1口，作流水灯实验。按键S1、S2接P3.2、P3.3口，作外部中断实验。S3是复位键。V_{cc}=5V。

2. 下载线

图2是目标板与PC机连接的下载线电路。作为PC机COM口的RS-232接口标准是：3脚为TXD（发送数据），2脚为RXD（接收数据），5脚为接地，其余的脚在这里用不上。数据以异步串行不平衡传输，数据电平采用负逻辑，即逻辑“0”为+5～+15V，逻辑“1”为-5～-15V。然而单片机的数据电平是正逻辑的CMOS电平，即逻辑“0”为0～2V，逻辑“1”为3～5V。故PC机与单片机间不能采取直通的电气连接，否则会烧坏单片机。图中芯片MAX232就起两者间电气隔离和逻辑电平转换的作用。

PC机的下行数据由COM口的3脚输出送到芯片MAX232的8脚，经变换为CMOS电平后再由9脚输出送去单片机的10脚（P3.0/RXD）。同样，单片机的上行数据由11脚（P3.1/TXD）输出送到MAX232芯片的10脚，经变换为RS-232电平后再由7脚输出送去PC机COM口的2脚。实现PC机与单片机的收、发数据互换。

3. 硬件系统的优化整合

为了安装和携带方便，可把下载线电路中起电平转换作用的芯片MAX232也焊接在目标板上，前面焊接一个RS-232接口插座（母座）与电缆连接。这样，就可以从商店购买一条标准的RS-232成品下载线实现PC机与目标板联机。

目标板的外置电源可用一个电池盒装上3节干电池供电，但携带起来不够方便。目前的PC机大都配有USB接口，该接口可向外提供电压5V，最大电流500mA的电能。USB接口共有4个端子，两边的端子是电源，中间两端子是数据通道。单片机本身就是低功耗的器件，有这样的电能供给绰绰有余。所以再在目标板上焊接一个USB接口插座，购买一条标准的USB成品下载线，这样就能方便地利用PC机对外提供的电源引进到目标板来。

经过整合，整套硬件部分就是一块目标电路板和两条标准下载电缆线（有关目标板的制作可参阅电子制作相关书籍，限于篇幅从略）。

软件系统

有了单片机的硬件系统后，它仍然不能工作。我们希望它按要求去工作，就得给它一个指示或命令，通称指令。单片机除了自身和周边控制功能部件外，还需在一条条指令的驱使下才能有条不紊地按人们的意愿去工作。一条条指令的集合就是单片机的软件系统。单片机如何获得这些指令，需要经过如下两个方面的软件开发平台的处理才能得到。

1. 集成开发环境IDE

我们学习汇编语言时是用助记符形式的指令来编写的，而单片机只能识别机器语言——一种数字格式的代码。所以我们要对编写好的汇编语言进行翻译变成机器语言,这个过程叫汇编(若用高级语言如C语言编写的源程序翻译成机器语言叫编译)。一种方法是手工汇编，代码多难以记忆，查起表来极其麻烦，很少有人使用。另一种方法是机器汇编，是通过汇编软件将汇编语言源程序自动翻译成机器语言代码。用于MCS-51系列单片机的汇编软件很多，操作方法不尽相同。作为初学者，越简单易用就越好。

Dais(达爱思)集成开发环境IDE（Integrated Develop Environment）软件是网上免费共享软件，它的特点是：全中文界面，可以实现源程序的编辑、汇编/编译，硬件仿真、软件仿真一体化，并且支持汇编/C语言混合调试。与其他开发软件相比，免去了烦多的参数设置过程。若暂不建立硬件仿真和调试，那就更简单不过了，只须点击几步就能实现源程序汇编/编译成目标代码文件（单片机唯一能识别的机器语言文件）。下面是操作过程中的几个关键步骤。

第一步：安装。Dais软件是一个非安装版软件，要从下载的文件夹中找到安装文件SETUP.EXE并双击，之后一路回车，即可成功安装到C盘，并在桌面创建快捷图标“MCS-51集成开发环境”。

第二步：双击桌面图标运行。在弹出的参数设置的对话框中点击“取消”按钮（因无仿真器，不需设置项，但仍能汇编/编译生成.HEX文件，并进行软件仿真），这时出现了开发环境的主控环境管理窗口，如图3所示，有标题栏、菜单栏、工具栏和最下面的状态栏，操作方法与XP操作系统一样。

第三步：建立源文件。在菜单栏点击“文件”→“新建文件”，在弹出的编辑窗口输入汇编语言源程序。例如在窗口编辑一个流水灯实验的源程序如下：

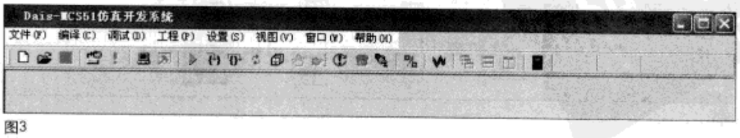


图3

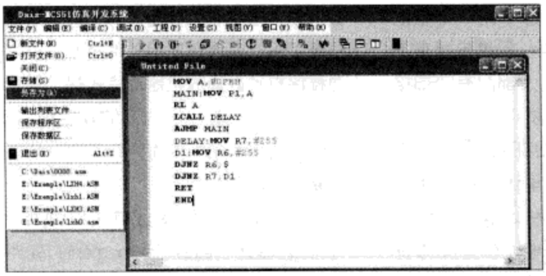


图4

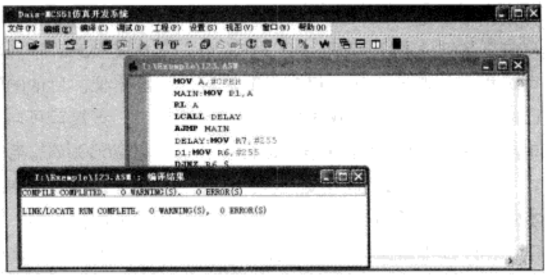


图5

MOV A，#0FEH；设置第一盏灯亮、其他的灭

MAIN：MOV P1，A

RL A；使亮灯左移一盏

LCALL DELAY；调用延时子程序

AJMP MAIN；亮灯延时结束后返回到下一盏灯亮

DELAY：MOV R7，#255；延时子程序

D1： MOV R6，#255

DJNZ R6，$

DJNZ R7，D1

RET

END

输入结束，然后又点击菜单栏“文件”→“另存为…”，见图4。在弹出的窗口点击下拉菜单选择存盘路径，例如保存在可移动磁盘I：\Exemple\123.ASM。要求文件夹、文件名用英文格式，后缀必须是.ASM。这样在文件夹下就有了一个源文件（123.ASM）。

第四步：对源文件进行汇编/编译。点击菜单栏“编译”→“文件编译 连接”。若无语法错误，弹出的窗口将显示编译结果：0个警告，0个错误，如图5。若有语法错误，则提示第几条语句有错，返回编辑窗口修改并存盘后，重复上述编译过程即可。此时，原保存源文件的文件夹（I:\Exemple\）下就生成了8个文件名相同而后缀都不相同的文件，见图6。其中123.ASM是源文件，123.HEX就是单片机能识别和执行的十六进制目标代码文件。另处6个文件用于仿真和调试。

HEX（Hexadecimal）十六进制。手工汇编和机器汇编得出的结果一样，都是一连串的十六进制代码，所以自动生成的目标代码文件的后缀是.HEX。如何将这个文件存放到单片机内程序存储器里呢？那就要借助另一个专为程序下载的驱动软件了。

2. 程序下载

将汇编/编译好的目标代码文件送到单片机里去，存放并固化在程序存储器上，这个过程叫编程。所使用的工具叫编程器，也叫程序烧录器。一般情况下，不同的芯片都须专用的编程器，不能通用，且价格较贵。宏晶科技公司的STC89C51单片机具有ISP功能，只要PC机与芯片连接上，就可使用电可擦写办法实现在线编程，从而免去了昂贵的专用编程器。芯片内部有4KB的Flash ROM，任由擦写几千次，非常适合初学者作实验使用。把目标板通过下载线与PC机连接好后，接下来就可以进行程序的烧写了，非常简单。

烧录软件可从宏晶公司网站免费下载，名称是“STC单片机PC端ISP下载控制软件正式版Ver3.5”，自解压后直接执行文件STC-ISP.EXE即可。

结束语

通过上述分析，要做好单片机的实验，需具备的硬件包括一块目标实验板，一条RS-232下载线和一条USB下载线。软件包括Dais集成开发环境和由厂商提供的程序烧录软件。软件是免费的，可用移动U盘随身携带。若每人都配置一套这样的系统，付出不外乎是一两本教科书的代价，相信人人都可以轻松接受。至于电脑，若个人暂时还没拥有，可以灵活借用，甚至到网吧去也可以使用。总之，再没有任何理由能阻止我们学习单片机的高涨热情。特别是能做到活学活用，那种成就感就不言而喻了。倘若你觉得这套系统不够用时，那就要恭喜你啦，你可以大方花钱去购买商业版的Keil C51开发软件和仿真器、编程器等开发设备，因为你己具备单片机开发的能力，在社会上可找到了立足之地……

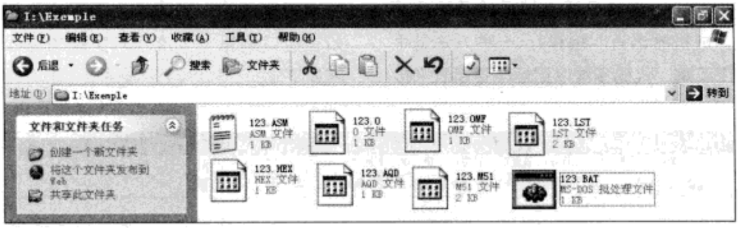


图6

◎许勤斌

多变炫目的LED灯牌

如今用LED做的广告牌已随处可见，其中以亚克力板材做箱体，直接在箱体表面穿孔安装LED而构成广告图案的，又称为LED灯牌，国外称之为LED Sign，见图1。与传统广告箱前面板为平面设计图，背后打光的方式有所不同，它具有箱体厚度薄、轻巧、图案亮度高、颜色丰富、节能、寿命长等特点。目前在演唱会上常见到一些歌迷高举的发光灯牌，大多就是简易的LED灯牌。真正的LED灯牌设计得非常艺术，可实现LED图案的常亮、闪烁、追逐、渐变等效果，广告画面非常生动。

LED 灯牌可以轻易实现多种动态显示效果，因而在基本不增加成本的情况下，一般都有两种以上的显示模式，以增加客户产品附加值。由于广告需要，灯牌通常悬挂于高处，因而行业内多数在灯牌上安装拉链开关做电源开关。本文就介绍这种显示模式的切换方法。

LED灯牌目前的程序切换方式

要切换LED不同的显示模式，通常采用以下三种方式实现：

图1 LED灯牌（LED Sign）

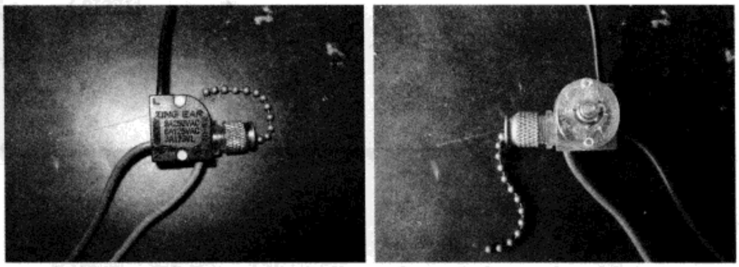


图2 4挡拉链开关

附表 拉链开关在不同挡位下的工作状态

拉链开关的不同挡位		MCU的挡位检测值		MCU的程序
拉链开关状态	电源供电状态	TEST1状态	TEST2状态	控制状态
OFF	断电	X	X	X
L-1	供电	0	1	控制程序1
L-2	供电	1	0	控制程序2
L-1-2	供电	0	0	控制程序3

注：TEST1/2状态用“0”，“1”表示，低电平用“0”表示，高电平（5V）用“1”表示。

1. 在LED灯牌侧面增加一个轻触开关，作为专用切换键；

2. 采用无线或红外技术，通过遥控切换；

3. 采用多挡接链开关，每拉一次开关，产生不同逻辑值进行切换。

下面我们对上面的三种常见方法进行简要分析：

第1种方法在电路设计上是合理的，但实际上，由于灯牌在使用时是高高挂起的，使用开关切换并不方便，显然不是最佳的办法。

第2种方法当然可行，但电路设计需要增添一个遥控器与一个信号接收板，会增加较多成本，只能为一部分客户接受，同时也存在损坏或丢失遥控器的少数情况，降低系统可靠性。

第3种方法，通过拉链开关进行控制，一键多控进行切换不同的程序，一般采用4挡三功能的拉链开关，见图2。这种开关常用于灯饰行业，有易采购、价格合理、体积小的优点。它的额定值：6A 125VAC，3A 250VAC，功能：OFF、L-1、L-2、L-1-2。

为了更好地理解设计，给出拉链开关在不同挡位下的检测电路及逻辑表，见附表。

从附表可知，LED灯牌可以设计为一种常亮模式，2种不同的变化模式，对一般应用来说，已能很好满足要求。因为这种方法使用方便，质量可靠，成本较低，因而较多灯牌都采用这种控制方式。

新的控制方式与电路

市场上一般的LED灯牌工作电流约

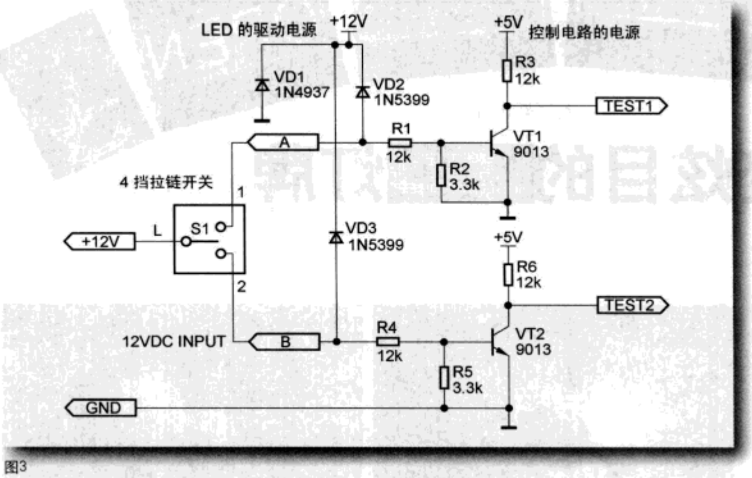


图3

为1A，但个别功率较大的可达3A，其电路见图3。图中LED灯牌的工作电流会分别经过VD2、VD3，从而产生很高功耗，VD2、VD3发热严重。

假设LED灯牌工作电流3A，二极管压降0.7V，那功耗将达到2.1W，因而二极管产生的热量对各种电子元件，特别是LED在高温下寿命会大幅度减小，严重时甚至可使厚度很薄的灯箱的亚克力板材发生热形变。

通过采用肖特基二极管可以降低功耗，但温度仍然较高，同时也因为肖特基二极管的价格高会增加不少成本，所以还不是最好的办法。笔者在几年前在第3种方法的基础上采用了新电路设计，较好地解决了以上的问题。

具体操作方法是开关ON，灯牌显示初始模式；开关OFF，灯牌熄灭，这时如果10秒内开关ON，灯牌显示变为第2种模式，重复*n*次上述动作，可以显示第*n*种模式。

例如我们可以通过软件设置显示3种模式，当显示了第3种模式，再动作就会回归初始显示模式，如此循环动作。但如果开关OFF超过10秒，则每次开关ON，都只会进入初始显示模式。

1. 电路原理分析

先来看看图4所示的电路是如何实现上述功能的。

(1) 电路说明

为了更好地理解电路，图4中添加了MCU的部分线路，程序选择判断作用的电路由S1、VT1、VT2、R1～R6、VD2、VD3、C1、C6组成。

S1是普通的ON/OFF型拉链开关，电源通过S1流入后的+12V是供给“LED的驱动电源”，这处是LED灯牌上所有的LED的供电点，所有能点亮的LED供电都是由此处流出，是LED灯牌最主要的耗电部分。而在IC1稳压后+5V是供给“控制电路的电源”，主要耗电元件是PIC15C5X、74HC595等低功耗的CMOS IC。

(2) 电路原理说明

当S1闭合，+12V、+5V均正常供电，使电路按预定的程序闪亮各段LED，LED灯牌按正常工作。

S1闭合的同时，+12V电压开始通过R2、VD2向C1充电，C1电压升高，电流通过R1使VT1饱和导通，由于S1此时也处于导通状态，从电路上分析，可知VT1导通并没有改变现有的电路工作状态。

S1闭合的同时，+12V开始通过R3、R4分压，流入R5，即VT2的b极，使VT2饱和导通，VT2的c极上的电压变为低电平，并连接IC2的检测口TOCKI，由图可知该点在S1导通期间一直维持低电平，C6是消抖动电容。

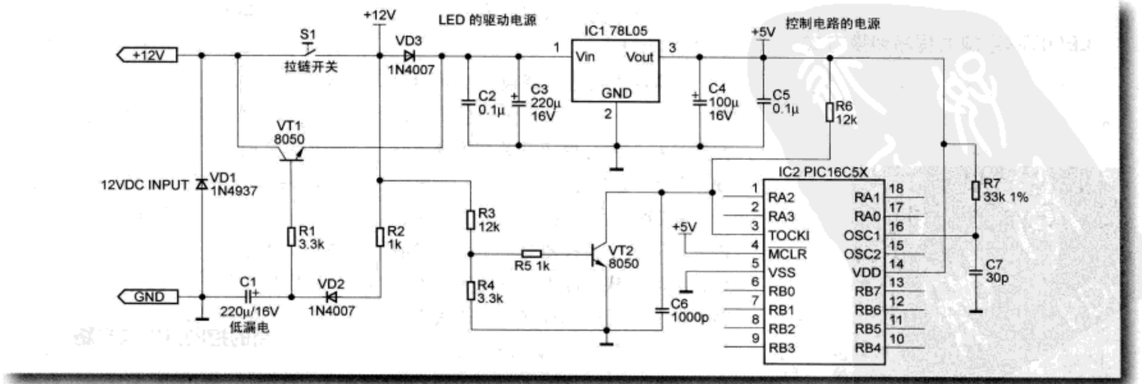


图4

当S1断开，+12V处断电，所有LED均因没有供电而熄灭，电源不再通过VD3给IC1供电。

在S1断开的同时，由于C1上的电压在VD2的反向阻断下，只能通过R1向VT1的b极缓慢放电，使VT1维持饱和导通，电路设定VT1维持饱和导通的时间约10秒。此时外部电源则通过VT1的c、e极接入78L05，+5V电路继续工作。VD3的作用是保障了通过VT1的电流不会流向+12V，令LED在OFF状态下继续熄灭，同时VT1不会因过载而损坏，在这里只需要选用小功率管即可。

VT2的c极与IC2 PIC16C5X的第3脚 TOCKI连接，TOCKI在这里用作程序切换检测口。TOCKI：定时器／计数器TMR0的外部触发计数信号输入端，通过软件设置用作计数器，设置上升沿触发有效。

当S1断开后，VT2的c极就会由低电平渐渐上升为高电平，而这次由于VT1的导通，+5V电路继续工作，TOCKI检测到一个上升沿，PIC16C5X的计数器就会增加1，软件就会根据计数器内的值而选择对应的程序。

如果S1在10秒内再次导通，灯牌上LED供电正常，就看到新的显示模式；如果10秒内不能再次导通，VT1截止，+5V电路真正停止工作。当S1再次导通时，PIC16C5X上电复位，计数器再次从零开始，我们又看到LED灯牌设定的初始显示模式。

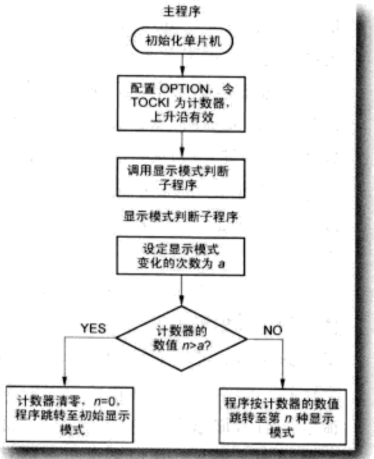


图5

注意，由图4的C1、R1、VT1构成RC延时放电，放电曲线除由电容值、电阻值决定外，还要考虑充电电压、电容的ESR、VT1的导通内阻的影响。确定元件规格后，可以较容易调试出所需的延时时间，建议电容要有较大容量，耐温105℃，这样可靠性会更高。耐压并非越高越好，越高则ESR越大，在这个电路上并不合适。

2. 电路可行性分析

优点：

（1）切换程序非常灵活，通过软件设置，可以令电路在1～*n*种程序循环切换，较4挡拉链开关的固定3种模式更易满足使用者要求。

（2）解决4挡开关经二极管供电引起功耗大导致发热问题，在图4中供电是直接经拉链开关S1到LED，不会引起功耗发热问题。

(3)低成本，通过图3、图4的比较，图4的电路在完成新的功能同时，电路设计依然简单，而且去除了价高的大电流低功耗的二极管，4挡拉链开关变为价格更低的普通2挡拉链开关，同时减少连接线，因而电路成本更低，有良好的经济实用性。

(4)开关断电10秒后实现零功耗，通常来说，要让单片机检测信号，就必须保持电路供电，这样就会使电路处于24小时工作，缩短电路寿命。该电路的巧妙之处，在于结合使用功能的同时，能延时自动切断输入电源。

图4中，VT1选用的是S8050，在截止状态下，漏电流I_{CEO}、I_{CBO}、I_{EBO}均只有0.1μA，即使关断的10秒内，VT1也只给耗电量很小的CMOS IC供电，因此说IC1关断后，电路实现了零功耗是不为过的。

注意，这里指的零功耗只是指应用的直流电路部分，如果是AC/DC的开关电源在待机状态下还是有功耗的，一般在0.5～1W。实际应用中LED灯牌在接通开关电源后，一般只通过拉链开关用低压直流电源来控制灯牌，这是为了安装方便、使用安全、质量可靠，因为一般的开关电源如果开关频繁容易损坏。

缺点：

灯牌的使用方法必须说明，因为一般人的思维惯性认为机械开关在关断电源后，电路就不能产生新的变化；不像采用4挡拉链开关的灯牌，基本不用说明就会使用。

小结：

该电路具有独创性的设计，适用于所有的单刀ON/OFF的直流电路。在实现机械开关正常的零功耗开关功能外，还提供了一个易于采样的电平变化信号，设计人员可以根据信号灵活应用于自己的设计中。

电路设计有电路简单、零功耗、可靠性较高（当然也需要结合具体的设计中）等优点，加上实现电路的成本低，有较强的实用价值，可方便移植于有需要的产品设计上。

软件设计

在理解了图4的电路原理与设计意图后，软件的设计就比较简单，以PIC16C54C为例，参考图5所示框图。

对于开关信号的检测，从图4的电路可看出，即使采用单片机的任一普通的I/O口也可以完成检测，但在本例应用中TOCKI属于空置口，且计数器捕捉开关信号时由硬件自动完成，不需要占用MCU时间扫描检测，在此应用中是较好的选择。如该电路应用于其他设计，软件的设计则需要以具体的硬件资源及设计意图为基础来重新确定软件的框架。

随温而动——让电风扇根据温度自动调节风量大小

◎梁承权

本文介绍一个采用AT89S52单片机芯片制作的“红外遥控风扇”，使用者可以通过普通遥控器设置强风、中风、弱风3挡，并对3个挡位设置温度，例如：25℃为弱风的设置温度，低于25℃风扇停转，高于25℃而低于中风设置温度风扇开弱风挡。25℃为弱风的设置温度。该风扇还可定时开关机，定时设置长度为0~99分钟，且能够显示实时温度。该红外遥控风扇具有电路简单、制作容易、设置方便、使用灵活等优点。该电路的控制软件及硬件电路均已实际调试运行通过，非常适合在业余条件下制作、安装和使用，也可由电风扇专业生产厂将其作为自动控制电路，在新型电风扇产品中应用。通过该电路，你可以进一步了解到“单片机”电路的应用扩展功能和指令应用技巧。

总体设计方案

红外遥控风扇总体方框图如图1、图2所示。该系统包括遥控器编码和单片机解码与处理两大部分。其中遥控器编码部分由键盘、红外编码芯片、红外发射头等模块组成。单片机解码与处理部分由控制器、红外接收、挡位切换驱动、温度采集、显示等模块组成。

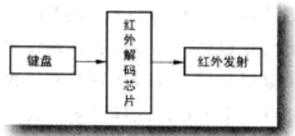


图1 遥控器编码部分方框图

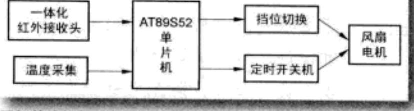


图2 单片机解码与处理方框图

系统控制流程图

红外发射部分流程图和接收部分流程图见图3、图4。

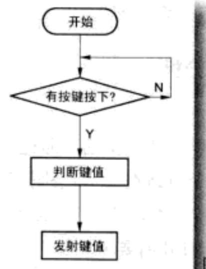


图3

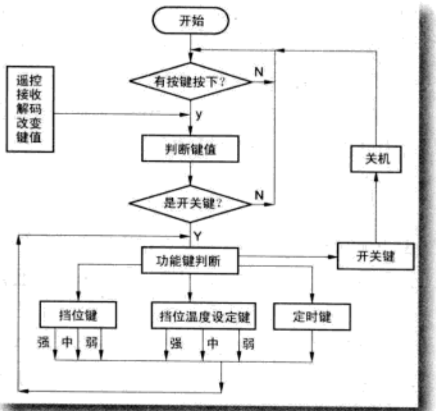


图4

红外通信基本原理

1. 红外通信的基本原理是发送端将基带二进制信号调制为一系列的脉冲串信号（载波信号），通过红外发射管向外发射红外信号。常用的有通过脉冲宽度来实现信号调制的脉宽调制（PWM）和通过脉冲串之间的时间间隔来实现信号调制的脉时调制（PPM）两种方法。脉时调制（PPM）是红外数据协会（IrDA）和国际电子电工委员会（IEEE）一致推荐的调制方式，本设计采用了脉时调制方法，即用两个脉冲串之间的时间间隔来表示二进制信息。数据比特的传送仿照不带奇偶校验的RS232通信，首先产生一个同步头，然后接着8位数据比特，如图5所示。

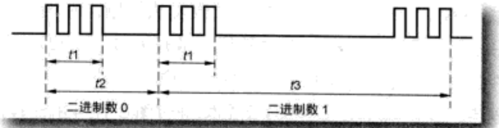


图5 PPM调制波形图

载波信号的频率 f=38kHz，载波周期T=26.32μs，本设计使用单片机软件产生载波，取T=26μs，脉冲宽度$t1$=10T=260μs，二进制数0的脉冲串周期$t2$=500μs，二进制数1的脉冲串周期$t3$=1000μs。

普通的红外遥控采用面向指令的帧结构，数据帧由同步码、地址码和指令码组成，指令码长度多为8~16个比特。传送多字节遥控协议时效率偏低，而增加指令码的长度不利于接收器同步，为此红外风扇选用一种面

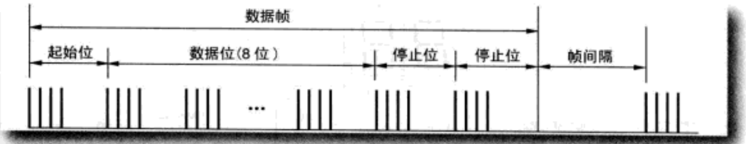


图6 数据帧结构示意图

向字节的帧结构。采用类似于异步串行通信的帧结构，每帧由一个起始位（二进制数0）、8个数据位和2个停止位（二进制数1）构成，如图6所示。每帧传送1个字节的数据，帧与帧间隔大于2ms，帧结构不含地址信息，寻址问题由高层协议解决。

由于红外光存在反射，在全双工的方式下发送的信号也可能会被本身接收，因此，红外通信应采用异步半双工方式，即通信的某一方发送和接收是交替进行的。

2. 接收部分是由单片机 AT89S52 的中断 INTO、定时器 TO 及红外数据接收模块构成的一个红外遥控接收器。定时器用于测量两个脉冲串之间的时间间隔，设定工作于方式 1，定时常数为零，每次启动测量前，定时器均清零。中断 INTO 由红外接收电路输出的负脉冲触发，单片机响应中断后启动定时器 TO。考虑到发射器和接收器中断响应的延迟以及接收器信号接收延迟的影响，接收器允许脉冲的间隔最大误差为 100μs，即二进制数位“0”的脉冲串有效间隔范围为 400 ~ 600μs，即二进制数位“1”的脉冲串有效间隔范围为 900 ~ 1100μs，不在此范围内的脉冲串则被认为是干扰信号或误码。

接收器以帧为单位进行数据接收。当红外接收电路收到频带内信号时，输出一个负脉冲并触发INTO，单片机响应中断，先清零定时器TO，启动定时器TO定时。收到第二个脉冲时，读出定时器TO的计数值并计算该脉冲信号与前一个脉冲信号之间的时间间隔，如为500μs，则收到一个二进制数“0”，即起始位，否则继续搜索起始位。起始位正确后开始接收数据位，在以后8个脉冲中，间隔为500μs的脉冲是二进制数“0”，间隔为1000μs的脉冲是二进制数“1”，否则认为是帧错误。收到8个数据后接收第一个停止位（必须是二进制数“1”，否则认为是帧错误）。收完第一个停止位（第二个停止位是用来触发中断，检测前一脉冲是否为第一个停止位），如停止位正确且已成功接收1个起始位、8个数据位、1个停止位，则数据帧正确，保存数据，准备接收下一个数据帧。否则接收错误，复位定时器重新检测起始位。

在数据接收过程中，如果发现相邻的两个脉冲的间隔不在允许的范围内，则认为数据位有错误，此时将按接收帧错误处理。

温度采集测量电路

传统的热敏电阻等测温元件测出的一般都是电压，再转换成对应的温度，需要比较多的外部元件支持，所以硬件电路复杂，并且占用太多单片机控制端口，制作成本相对较高。而DS18B20这种改进型智能温度传感器能直接读出被测温度，并且可根据实际要求通过简单的编程实现9~12位的数字值读数，测温电路见图7。

DS18B20的特点：

1. 只要求一个端口即可实现通信。

2. 在DS18B20中的每个器件上都有独一无二的序列号。

3. 实际应用中不需要外部任何元器件即可实现测温。

4. 测量温度范围在 −55℃到 +125℃之间。

5. 数字温度计的分辨率用户可以从9位到12位选择。

6. 内部有温度上、下限告警设置。

挡位切换驱动电路

挡位切换驱动电路如图8所示，由电阻、继电器、三极管等元器件组成，相当简单。当需要接通某一挡位时，只要将控制该挡位的I/O口置高电平，其余的为低电平，驱动继电器工

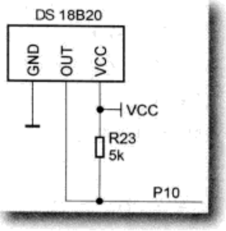


图7 测温电路

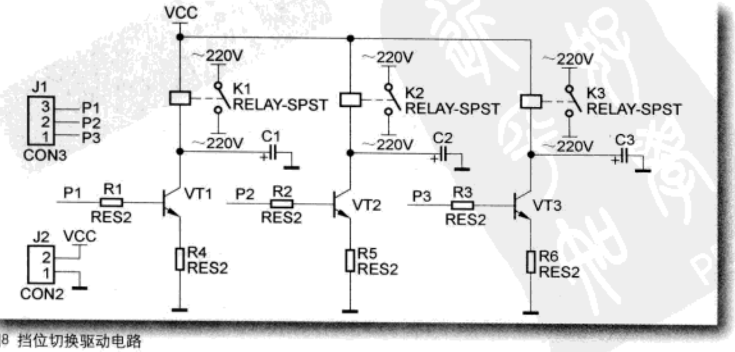


图8 挡位切换驱动电路

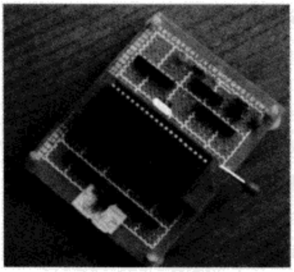


图9 AT89S52单片机最小系统

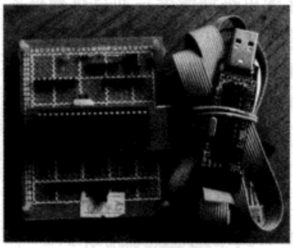


图10 单片机最小系统与ISP下载线

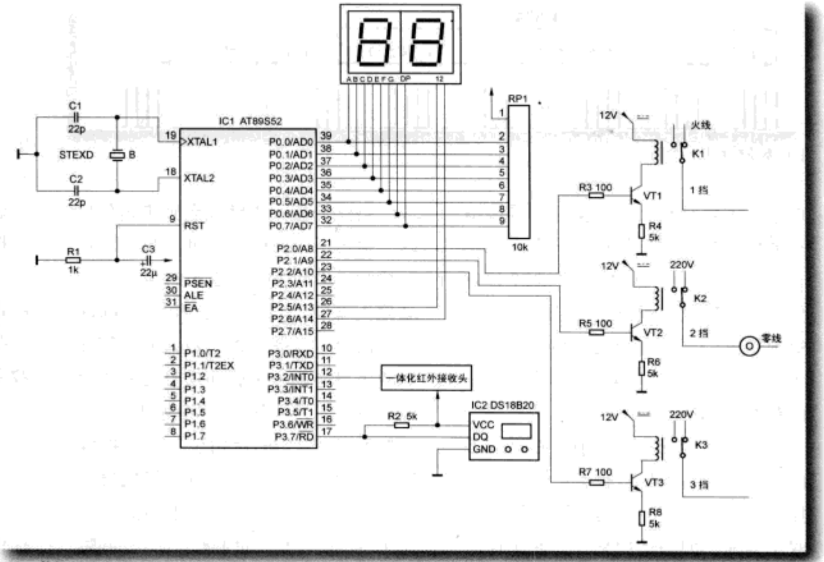


图11 整机系统电路图

作，就能把相应挡位连接到220V。

制作指南

由于电路十分简单，步骤大致分为以下三步：

1. 按图9连接好单片机最小系统（AT89S52、时钟电路、电源）。

2. 将程序下载到单片机中，见图10。

3. 按照图11接好剩下的电路。

整机实物图见图12。

材料清单如下：

1. AT89S52单片机	1块
2. 40 pin插座	1个
3. 22pF电容	2个
4. 12MHz晶体	1个
5. 10kΩ排阻	1排
6. 两位共阴数码管	1个
7. 22μF极性电容	1个
8. 1kΩ电阻	1个
9. 5kΩ电阻	4个
10.DS18B20	1个
11.一体化红外接收头	1个
12.100Ω电阻	3个
13.9013三极管	3个
14. 继电器(16A/220V)	3个
15. 7cm×9cm万能板	1块
16. ISP下载线	1根
17. 普通电风扇	1个

图12 整机实物图

图13 遥控器

18.遥控器1个（我用的是普通的星科电子的遥控器，见图13）

制作过程中需要读者特别注意以下几点：

1. AT89S52单片机不要直接焊接在电路板上，应先在电路板上焊接与之引脚相同的芯片插座，等焊接好后再插上芯片。因为单片机经常活动下载程序，这样可以更加方便地下载所需要的程序。另外焊接时，如果受热过高会导致烧毁芯片，因此需多购买一个DIP40的芯片插座。

2. 在闭合和断开时，继电器触点有可能出现火花，为了防止此现象，可在继电器两端并上大电容，可以减少火花并且会减弱继电器工作的响声。

3. 在遥控过程中，可能会发现单片机接收效果不是非常理想或根本无法接收，这时我们可以再用三极管将信号放大，这样单片机就可很容易地接收到红外线了。

希望这个风扇能够伴你度过炎热的夏天。

易用的三端无线供电芯片组VOX05MP01和VOXR10D

◎古人

自2007年美国麻省理工大学完成的基于电磁共振的实验后，无线供电在网络媒体上曾被过度炒作，以致有人借了东风，设计了多种远程的无线供电的电路，有的无线供电距离甚至长达数百米，这当然是“忽悠”。如今两年过去了，却很少见到一个真正的无线供电产品在市场上流行。究其原因，是因为电磁共振有其自身的特性和缺陷，主要归结为以下几点：

1. 电磁共振的前提是发射与接收的谐振频率必须一致。

2. 电磁共振以“电—磁—电”的方式实现能量的传递，而且是一个开放的系统，必然存在着电磁辐射和能量的损耗。因此，近距离的实际效率很难超过 80%，远距离的状态下，效率可能低到 0，并不符合节能的概念。

3. 电磁能与距离的关系为：电场强度与距离的二次方成反比，磁场强度与距离的4次方成反比，单纯的电磁共振是不可能长距离传输的。通常在1m处，效率不超过1%。因此，只能在近距离内使用，一般不超过10cm。

4. 电磁共振可以穿透所有非金属，却不能穿透任何金属。利用这个特性，可以制造出即时充电或即时供电的电器，在移动性、防水性和隔离性等方面有突出的表现，同样可以利用这个特性，来实现对其自身的 EMI 问题。

5. 在几厘米以内的近距离的电磁共振中，还存在着另一个实际问题，即空振高压问题。接收电路在有负载时的电压与空载时的电压相差悬殊，往往是数倍甚至是10倍以上，致使接收电路在空载时，由于电压的大幅度升高，将负载电路烧坏。这可能是电磁共振的无线供电一直难以实用的主要原因之一。

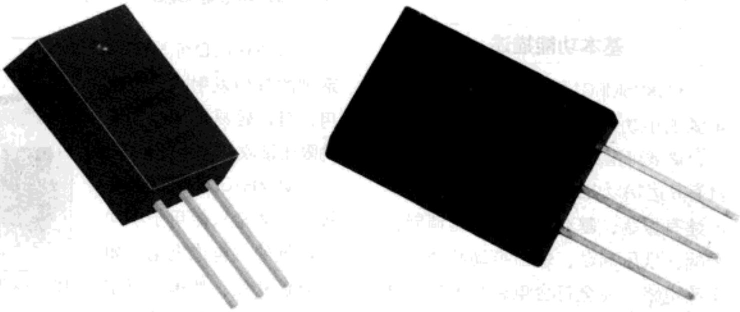


图1 VOX05MP01和VOXR10D的外形图

VOX05MP01和VOXR10D是一套近距离下的低压无线供电芯片组，其外形如图1所示。这组芯片在1～3cm距离内的表现相当不错，不仅效率较高、自身功耗小，而且体积小、价格低。适宜于低电压供电（发射工作电压可低至3.3V以下），包括USB供电。特别是接收芯片，解决了长期以来不能解决的接收电路的空振高压问题，使输出电压基本维持在一个相对稳定的电压范围内。

VOX05MP01和VOXR10D的特性

1. VOX05MP01的特性

- 输入工作电压范围3.0～12.0V
- 极限工作电压，最低2.5V 最高15.0V
- 外围可调元件仅一个电容和一个电感
- 自耗工作电流小到1mA
- 最大耗散功率高达1W
- TO-220-S封装
- 工作频率113kHz
- 内建脉宽调制
- 芯片自动限流
- 配套接收芯片VOXxxR104

2. VOXR10D的特性

- 可控输出电压范围3.3V/5.0V/6.0V/9.0V/12V
- 外围可调元件仅一个电感和整流电路
- 自耗工作电流小到1mA
- 最大耗散仅为10mW
- TO-220-S封装
- 内建电压跟随电路
- 内建功率跟随电路
- 与VOX系列发射芯片配套使用

3. VOX05MP01的脚位排列

1脚Pin1	2脚Pin2	3脚Pin3
地 GND	输出Out	电源Vin

4. VOXR10D的脚位排列

1脚Pin1	2脚Pin2	3脚Pin3
输出Out	地 GND	输入Lin

5. 应用范围

——USB设备的无线供电

——MP3、MP4、iPhone及手机等的无线充电

——2W以下的小功率隔离供电，尤其是水下供电。

基本功能描述

VOX05MP01是一款专门针对低压电源的小功率发射IC，工作电压范围大，最低可至2.5V，最高电压至15V，具有高达1A以上的电流发射能力。IC内部建有振荡、基准电压、脉宽调制、限幅、低压启动、输出推动和功率输出等电路，完全符合电磁共振的特殊要求。而自身功耗小，输出电流大，最高发射效率高达80%以上。芯片内设自动限流电路，电路在空载时电流很小，而在大负载时的输出能力可达空载时的十倍以上。外围电路十分简单，主要元件只有一个电容和一个线圈，因此使用十分方便，甚至可以不做PCB板。如果外围元件全部使用贴片元件，体积更小。配合相应的接收IC VOXxxR104同时使用，就能轻易地实现电能的无线传输。

VOXR10D-xx是一款专门针对VOX系列的发射IC设计的配套接收芯片，可以为接收电路提供一个相对稳定的中心电压。尾辍-xx表示电压值，分别有3.3V、5V、6V、9V和12V等。IC内部建有基准电压、限幅、低压启动、输出推动和功率输出等电路，完全符合电磁共振的特殊要求。而自身功耗小，输出电流大，接收效率高达80%以上。芯片内设自动限压电路，电路在空载时自耗电流不足1mA。

外围电路十分简单，主要元件只有一个电容、一个二极管和一个线圈，使用十分方便，甚至可以不做PCB板。如果外围全部使用贴片元件，体积更小。

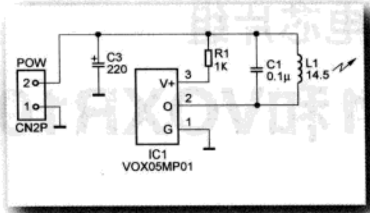


图2 VOX05MP01发射原理图

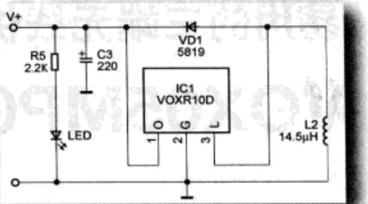


图4 VOXR10D接收原理图

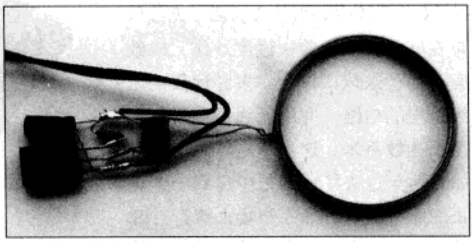


图3 VOX05MP01发射实物图

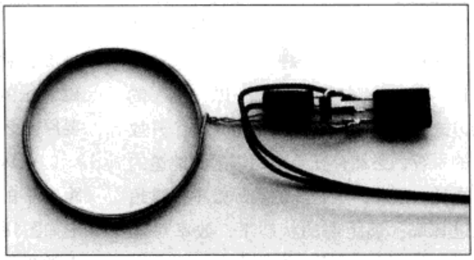


图5 VOXR10D接收实物图

VOXR10D可与VOX系列的其他发射IC配套使用，可以轻易地实现电能的限压接收。

VOXR10D的耗散功率较小，通常只能用于小功率电器的供电或充电，如计算机外设、便携式移动设备（包括MP3、MP4、iPhone、手机、数码相机等）的充电或供电。

发射原理图

发射电路原理图见图2，电路中L1（直径45mm）可以用漆包线绕制，形状可以是圆形、方形或其他不规则形状，但要求电感量符合要求。C1贴近L1安装，C1应使用耐压100V以上的CBB电容为佳，误差在±5%之内。C3不可省略，并尽量靠近IC1，所有连线均以最短为佳。在线圈的两端10cm范围内，或周边5cm范围内不能有大面积的金属，否则可能会影响发射效果。

若要考虑到电磁干扰的问题，屏蔽是最好的办法，即用一个较大的金属盒（包括铝箔在内）将发射线圈包起来。

电磁共振所产生的磁场可以穿透水、空气、塑料、木板、玻璃等所有非金属物质，但不能穿透金属物质。

接收原理图

接收电路原理图见图4，电路中的二极管VD1决定了整个电路的最大允许电流，这个二极管宜选用快速恢复管或肖特基管，正向压降不超过0.2V为佳。若工作电流超过1A，建议使用1N5822等。

L2的匝数决定电路的初始启动电压，匝数多，启动电压高，反之低，通常要求L2产生的电压最高（两线圈贴得最近时）不超过芯片中心电压的3V。

这个电路的特点是：

1. L2决定最高接收电压。

2. IC2决定中心电压。

3. 消除了空振高压。

4. 消除了元件的发热现象。

有关这两款无线供电芯片的供货信息见2009年第9期广告第104页。

◎沈建华

绿色节能的低功耗单片机

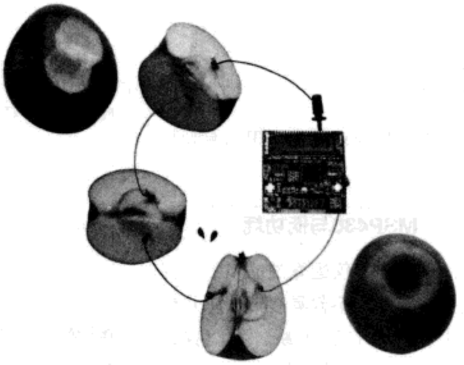


图1 3片苹果、用铅丝/铜丝串接起来组成的“电池”，就可以使MSP430跑起来！

《无线电》与我

在美国密西根大学访学，突然收到一封《无线电》杂志社的约稿 email，身在异国他乡，更是心潮起伏，回忆起自己 30 年前，从一本《无线电》杂志开始，学习电子技术，至今从事嵌入式系统研究、开发的历程。

那是20世纪70年代末，我初中时期，那时科普、科技刊物非常稀少。一次在学校阅览室随手翻阅一本《无线电》杂志，看到其中有一篇“水开报警器”的制作文章，觉得很有用。强烈的好奇心使我在对电子技术几乎一无所知的情况下，对着其中的制作步骤买来元器件（跑遍了无锡城，花了约3元钱“巨款”——毫不为过，那时工人工资才20~30元），用刀刻电路板、打孔，用火烙铁焊接，硬是把它给装出来了。虽然当时对其原理几乎一窍不通（其实就是一个单晶体管振荡器，加一个日光灯启辉器中的双金属片感温器开关），万幸的是，居然一次成功！把感温器插在烧水壶中，水烧开时报警器就响了，那高兴劲就甭提了！从此便一发不可收也，兴趣是最好的老师，我边学习边动手，装音频放大器、收音机……，在我高中毕业时（1982年），装了一台14英寸的全晶体管黑白电视机作为我姐姐的嫁妆，家人都引以为荣。高考时，我毫不犹豫地报了电子、计算机专业，结果被华东师范大学计算机系录取。但我一直爱好电子技术，喜欢动手，大学开始软、硬结合，后来便顺其自然地从事了嵌入系统的研发。

我至今还经常想，如果当时我没有看见那本《无线电》杂志，也许我就不会走上现在这条路。也正由于中学时代积累的硬件、电子基础，结合大学期间学习的计算机软件技术，才使我现在具有独特的优势来进行嵌入式系统设计。

单片机与MSP430

我是在大学高年级参加老师的应用项目时（1986年）接触单片机的，那时国内使用MCS-48系列，说是单片机，其实还要外加存储器（EPROM）的，用汇编语言编程，开发工具非常昂贵，非一般人员可以使用。后来是MCS-51、MCS-96系列，特别是20世纪90年代后期，带Flash存储器的51单片机（AT89C51）问世后，才成为真正意义上的“单片机”。在支持单片机的C语言编译器（如Keil C51）稳定并成熟后，大大简化了开发手段，使单片机开发应用降低了“身段”，开发使用单片机成为“小菜一碟”。虽然我曾经用汇编写过1万多行的一个程序，但现在对学生还是提倡用C语言编程，必要时才局部使用汇编。

需求是发明之母。各种实际应用需求，促使了各种单片机的出现，单片机在后PC时代得到了前所未有的高速发展。以应用需求为目标，市场越来越细化，低功耗便是其中一个突出的领域。现在以电池供电的应用/产品越来越多，而且由于产品体积的限制，很多是用纽扣电池供电。要求系统功耗尽可能低，如医疗监护、手持式仪表、水表、玩具等。最好做到产品不用换电池，电池的使用时间就是产品的生命期！或根本不用电池，只要一点生物能或太阳能，就可以维持单片机产品的运行。这在以前是不可思议的，但现在正在变成现实，因为MSP430的出现！

目前，号称“低功耗”的单片机有很多，但能称为“超低功耗单片机”的，只有美国德州仪器（TI）的MSP430系列。其功耗究竟低到什么程度？看一下图1，你就明白了。

MSP430功耗如此之低，是否一直在“睡觉”，不能做什么事啊？非也！MSP430不仅功耗超低，性能也相当“强劲”（当然不能和Pentium比哦）。MCS-51系列是8位机，而MSP430是16位RISC结构。MSP430在16MHz晶体工作时，指令速度可达16MIPS（注意：同样16MIPS的指令速度，在运算性能上16位机比8位机高远不止两倍）。同时，MSP430中采用了一般只有DSP中才有的16位多功能硬件乘法器、硬件乘-加（MAC）功能、DMA等一系列先进的体系结构，大大增强了它的数据处理和运算能力，可以有效地实现一些数字信号处理的算法（如FFT、DTMF等），在一些医疗监

护、数据采集与处理应用中具有独特优势。

MSP430与低功耗

MSP430不仅运算性能较强，其外设也很丰富。不仅具有一般单片机的定时器、串口、中断、看门狗、电压检测、数字振荡器等，还有12位ADC、DAC、模拟比较器等高性能模拟/数字混合外设。其名字MSP即是混合信号处理器（Mixed Signal Processor）的缩写，只是我们把它简称为单片机了。

MSP430如何实现超低功耗？不容置疑，那就是技术——TI公司全球领先的技术。这可不是吹出来的哦，科学要用数据说话。

大家可能对Intel、AMD耳熟能详，其实TI公司才是半导体领域的真正前辈：世界上第一个商用的晶体管（http://electronicmaterials.usask.ca/interestingtopics/files/Texas/1954-FirstSiTransistor%20.pdf）、第一枚集成电路（http://www.ti.com/corp/docs/company/history/tihistory_subpage2.shtml）都出自TI公司，至今TI公司还是世界500强企业（在200位左右），叱咤风云75年，不靠领先的技术能行吗？要知道我们的宝钢也只是300多强，那要生产多少钢铁啊？

半导体、微电子技术是降低IC功耗的基础，因此从总体上说，随着时间的推移，半导体工艺技术的进步，类似功能的IC功耗都在下降，就像现在的51单片机功耗比10年前的51单片机功耗也下降了不少，所以比较功耗要在同一时间阶段来看，否则就没有意义了。

除了半导体制造工艺，影响单片机功耗的另一个重要因素就是“体系结构（Architecture）”。一般来说，精简指令集（RISC）架构的处理器由于结构相对简单，比复杂指令集（CISC）架构的处理器功耗要低一些。MSP430是RISC架构，MCS-51是CISC架构的。

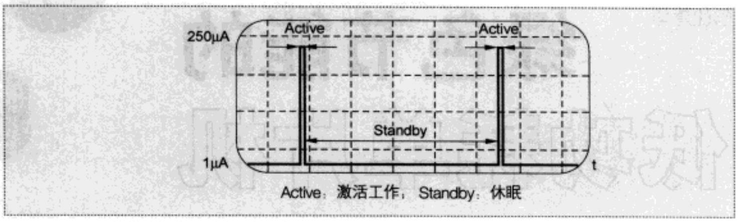


图2 MSP430工作模式切换，平均功耗非常低

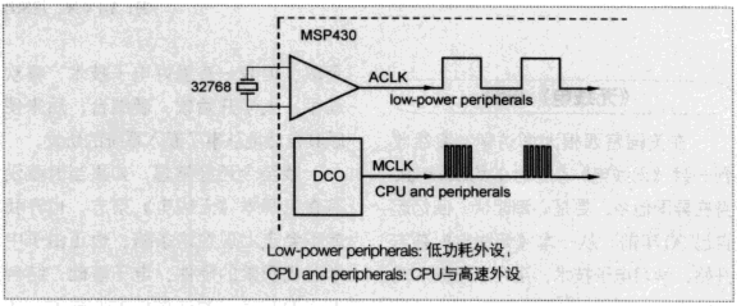


图3 多时钟源（ACLK低速时钟供低功耗外设，如RTC；MCLK高速时钟供CPU及高速外设）

另外就是功耗控制（电源管理）技术，MSP430在这方面有其独到之处，其领先的低功耗技术亮点包括：

1. 多种工作模式（参见图2）：

0.1μA 关机模式（RAM内容保持）；

0.8μA休眠模式（中断激活）；

250μA/MHz激活模式（可根据实际性能需求动态选择/切换工作主频，多时钟源（图3），干多少活儿吃多少“饭”）；

2. 立即开启高频时钟（从“睡眠”中醒来就可以“高速跑步”，无须“热身”），见图4；

3. 1.8~3.6V单电源工作（包括内部模拟电路）；

4. 集成零功耗的电源电压检测电路；

5. 小于50nA的引脚漏电流（引脚输入阻抗非常高，可以使用阻值很大的外部上拉/下拉电阻，降低系统功

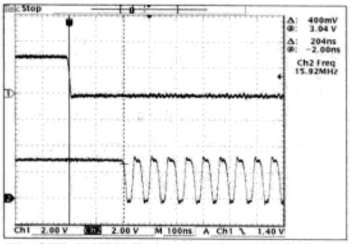


图4 高速时钟快速激活（204ns），醒来就快跑，无需“热身”

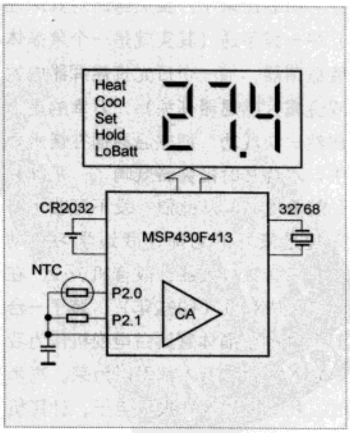


图5 10年温度计实例

耗）；

6. 低功耗、可关闭的各种外设（按需开启使用，不浪费一点电力）。

7. 全工业级产品，保证在各种使用环境下的低功耗、稳定性（目前很多单片机是商用级的，工业级的就要贵多喽）。

来看一个MSP430的设计范例：用MSP430F413的10年寿命温度计，使用一颗CR2032纽扣电池（图5）：

休眠平均电流：	0.80μA
实时钟（RTC）平均电流：	0.03μA
液晶（LCD）平均电流：	0.80μA
温度ADC平均电流：	0.3μA
总平均电流：	1.93μA

MSP430特别适合于电池供电的智能设备。当然，其丰富的外设功能也可以满足绝大部分一般单片机的应用设计，只是其低功耗特性不一定用得上而已。MSP430的主要应用领域包括：健康监护产品，如电子血糖计、电子血压计，各种低功耗测量仪器、仪表，智能传感与测试，消费类电子产品等，如图6所示。

看到吗？一双跑鞋中也有MSP430！这是真的，高科技的跑鞋包含多个方向的压力、加速度传感器，可以检测运动员跑动时的用力情况，帮助教练员分析运动员的跑步姿势和用力分配，科学地提高训练质量。这就是高科技的应用——无处不在！

MSP430 产品线

为了适合各种不同需求的应用，提高产品的性价比，MSP430系列16位超低功耗单片机产品线分为5个系列，共有100多种型号，但他们一般都使用统一的开发工具（JTAG仿真器、编程器、集成开发环境等）。用户可以根据自己的产品开发需求，根据功能（外设需求）、存储器容量，找到一款最适合的MSP430单片机（价格从人民币3元到100多元），以获得最高的系统性价比。

MSP430在开始阶段（2000年左右）主要是1xx系列、3xx系列和4xx系列。后来逐步改进、扩充，增加了2xx

图6

系列和5xx系列。

1xx系列不带LCD驱动，1.8~3.6V供电电压，8MIPS速度性能。11xx/12xx外设功能相对简单，一般没有硬件乘法器，存储器较小（Flash/ROM不超过8KB，RAM不超过256字节），13x/14x/15x/16x随子系列号的递增，外设功能也逐步增多，包括硬件乘法器、12位ADC、DAC等，存储器也比较大（Flash最大为60KB，RAM最大为10KB）。

2xx系列基本上是1xx系列的升级换代产品，外设功能与1xx类似，但其性能及功耗指标都比1xx系列更好些，性能速度可达16MIPS，并集成了±2%精度的数字控制振荡器DCO，可以不用外部晶振实现一般精度的定时，以及串行异步通信性（UART）。2xx系列的性价比要比1xx系列更高，可以作为现在新产品开发的首选。

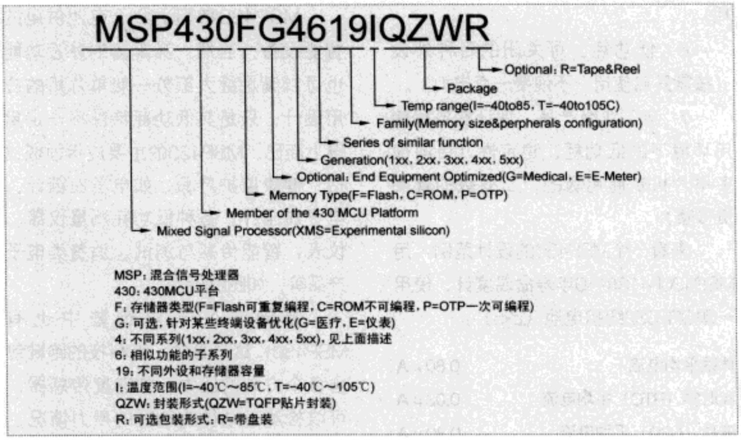


图7 MSP430系列产品命名规则

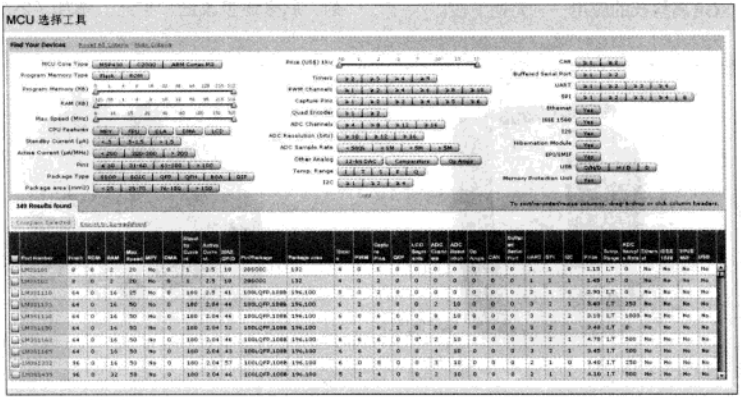


图8 MCU选择工具

3xx系列是老的掩模ROM或OTP（一次可编程）产品，2.5~5.5V供电，最大32KB存储器，4MIPS性能速度，一般不适合用作样机开发。

4xx系列是在1xx系列基础上增加了段式LCD控制器。1.8~3.6V供电，8MIPS性能速度，最大120KB Flash/ROM。4xx系列特别适合仪表、医疗监护产品应用。

5xx系列是高性能产品，1.8~3.6V供电，性能速度可达12~25MIPS，并增加了电源管理模块PMM，可以进一步优化功耗。存储器Flash容量在128KB以上，RAM有16KB，适合于最新的、带网络协议的无线传感器网络（如Zigbee）应用。另外，TI公司目前已经把MSP430与低功耗射频（RF）结合，推出了CC430系列，专门应用于低功耗无线领域（这是今后的重要发展方向），如智能传感、遥控、遥测等。

MSP430系列产品线的基本命名规则见图7。

可重复编程的Flash单片机适合研发和中小批量生产；一次编程的OTP单片机适合中、大批量生产以降低成本；不可编程的ROM单片机（委托TI公司掩模Mask）适合特大批量生产。详细的MSP430产品型号、规格，可以查询相关资料或TI公司网站，见图8。

开始吧

世上无难事，只怕有心人。如果你想试试MSP430的卓越特性，或有一个好的想法（创意无极限哦！），那就动手吧！现在各种MSP430的开发板、开发工具、书籍教程等已经很多（后续文章会作进一步的介绍）。特别是，在TI网站申请加入大学计划或TI用户，就可以得到更多的支持，包括在网上申请MSP430及其他TI的免费样片，是不是很爽啊！还有，TI经常举办全球MSP430大奖赛（http://www.designmsp430.com/，http://www.circuitcellar.com/msp430/，你也可以从中发现很多有趣的作品）。只要你的MSP430作品有创意（不在于难而复杂），大奖可能就属于你！如果你有兴趣，赶快行动吧！

MSP430单片机开发环境的使用

◎魏小龙　邱芝贞

前面沈建华教授图文并茂地介绍了MSP430，讲述了与电子技术、《无线电》杂志的渊源，并表达了一个重要思想："兴趣是最好的老师"。在我多年MSP430教学过程中也深深体会到这一点。我所在的南京航空航天大学现在也基本上是综合大学，有文科、理科、工科，MSP430课程为校选修课，每年大多数专业学生都有选修这门课，当然电类专业学生为多数，并不是文科的学生就不能学或者学不好。事实证明并非如此，电类专业学生学得好的占多数，文科专业学生学得好的也不少，比如2007年我校使用MSP430单片机为核心参加全国电子设计，就有经管院的学生获得国家二等奖。"兴趣是最好的老师"在这里得到淋漓尽致的体现：尽管你是学文科的，只要有兴趣学习，都能学好。当然在我的教学方法中，如何引导学生对你讲的课程感兴趣，这很重要。还有，这门课全部在实验室开展，让学生有大量动手实践的机会。给学生以成就感，又是另外的重要教学思路。废话少说，这一期介绍MSP430的开发环境以及具体应用实例。

要使用MSP430单片机，就必须将其开发环境搞清楚。

MSP430单片机有完善的开发环境，目前主要的有IAR的开发环境Embedded Workbench与TI自己的开发环境CCE。但是用得比较多的还是IAR的开发环境，所以这里主要讲IAR开发环境的使用。IAR开发环境集编辑、调试于一体，方便，灵活。软件的安装这里省略。

首先，需要新建一个工作区，操作如图1所示。

然后，需要在这个工作区中建一个项目，操作如图2所示。然后选择在硬盘的某个地方建立此项目文件。

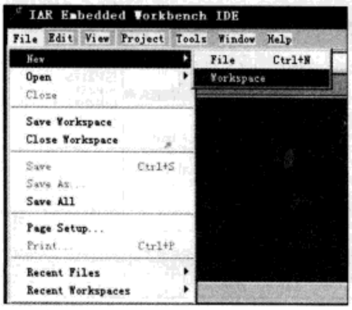


图1 新建工作区

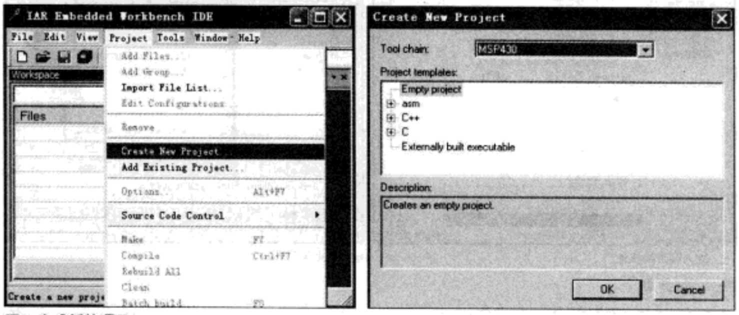


图2 生成新的项目

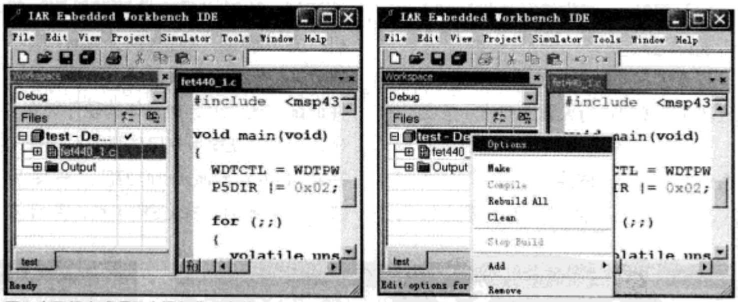


图3 在已经生成项目中添加代码文件

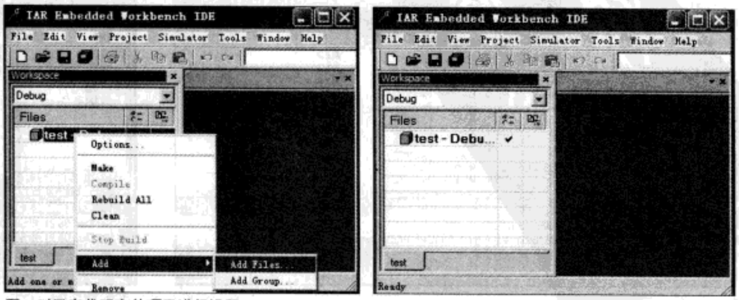
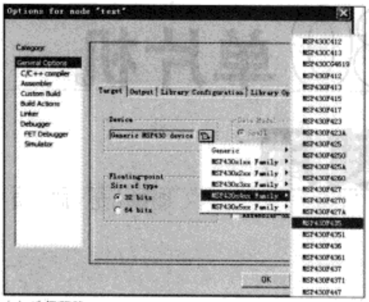
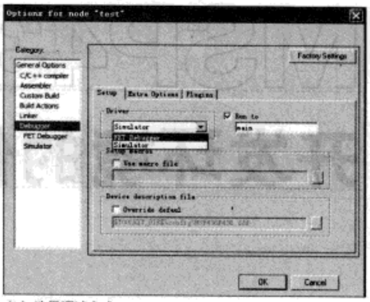


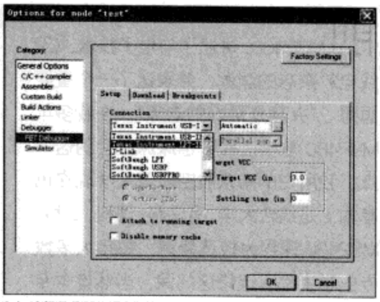
图4 对已有代码文件项目进行设置



(a) 选择器件

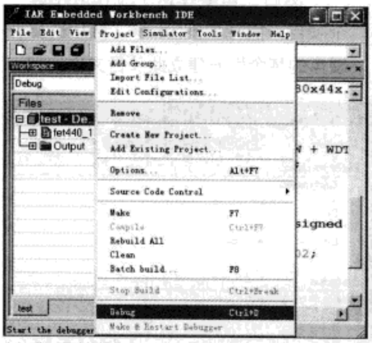


(b) 选择调试方式

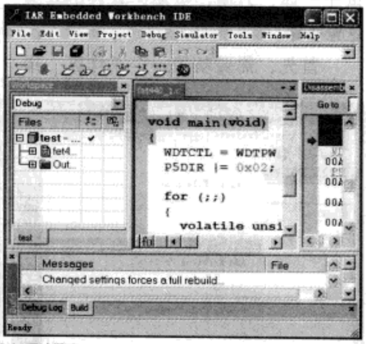


(c) 选择具体的硬件调试器

图5 设置操作



(a) 进入调试的操作



(b) 调试界面

图6 调试界面

目前的项目只有一个空架子，需要按照图3所示将你编写的代码加入这个项目。

图4为添加代码的项目以及对已有代码文件项目进行设置的操作示意图。

紧接着需要按照图5进行各种设置，如选择所用的器件。开发环境提供了模拟调试与硬件调试两种调试方法，如图5（b）所示。FET Debugger为硬件调试，这时必须连接调试器到计算机，方可调试，而选择Simulator则不需要连接电脑，虚拟调试。如果选择硬件调试，还必须选择具体的硬件如图5（c）所示，在使用并口仿真器时选择TI并口（Texas Instrument LPT），在使用USB仿真器时选择USB工具，并且将单片机通过JTAG调试器连接到电脑。

然后，就可以按照图6（a）所示的操作进入调试状态，如图6（b）所示。

进入调试状态后，可以进行各种手段的代码调试，分析代码的正确性。常用的手段有单步跟踪，断点调试，连续运行直接查看现象等。当然更有内部寄存器的查看与直接修改，内存变量的查看等。图7说明了如何进入查看MSP430内部资源以及MCU内CPU寄存器的值。同时在这里还能查看你的代码运行所需要花费的机器周期数。

图8描述了如何查看端口P1、P2的寄存器，以及寄存器的内容。用鼠标点击寄存器对应的数值后可以修改寄存器的内容。假设P1.0口线上连接了一个发光二极管，则可以直接通过修改P1.0对应的寄存器的值使得这个发光二极管点亮或熄灭。主要对P1DIR、P1OUT两个寄存器操作即可。

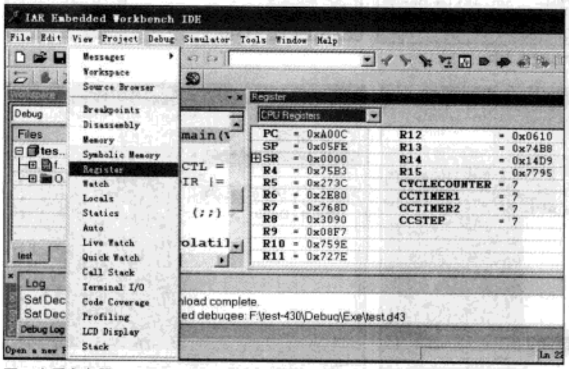


图7 查看寄存器

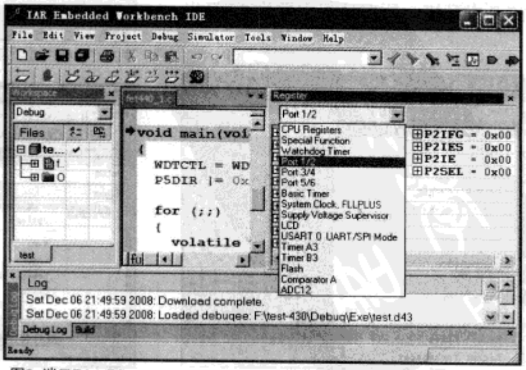


图8 端口P1、P2

硬件环境与应用简介

◎魏小龙　邱芝贞

开发环境包括软件环境与硬件环境。软件环境的使用如前文所述。硬件环境包含硬件仿真器（并口或USB接口的）以及单片机最小系统。并口仿真器比较简单，读者可以自制，JTAG接口定义以及TI原装并口仿真器元器件的布局图如图1所示，当然并口仿真器可以不按照TI原装的实现，网络上有很多相关资料，读者可以按照资料自己制作。除了仿真器还必须有最小系统板，因为仿真器实际上是单片机与电脑连接的电平转换器，真正的仿真器在单片机内部，图2为TI原装的MSP430F23X0最小系统板原理图，其中包含一个芯片紧锁座，用于更换不同型号的同样的封装芯片。由电路图可以看出，只需要一个上电复位电路（包含47kΩ电阻与10nF电容）。所有的MSP430最小系统基本相同。使用时，仿真器连接电脑，仿真器的JTAG与芯片的JTAG对应引脚连接（注意JTAG引脚定义，如图1左边所示），然后按照前面所述在开发环境下编写与调试自己的程序。

比较常见的入门任务为：点亮一只发光二极管。如图2所示，在P1.0连接了一只发光管，两条语句即可以点亮这只管子：

P1.0设置为输出

P1.0输出高电平

写程序与做硬件是很枯燥的事情，难道就为了点亮这只管子？请继续往后看，你会觉得不尽然，使用MSP430会给我们带来很大的乐趣。

在学会了MSP430开发之后，我为大家准备了几个设计：自行车里程表、时钟计算器、数字万用表、数字收音机，还有图文摇摇棒、电子秤等。这些设计都与我们的生活有关。大多数学生一进校就会买一辆二手自行车吧，我知道的是这样，自行车里程表你就可以用起来了；大学里大多数的实验都需要计算器，这里你能自己做一个，还学习到了单片机知识，当然多功能时钟就顺便有了，比如闹钟、纪念日提醒、万年历、秒表等。一进大学，为了学习外语都得购买外语教学收音机，如果自己做一个收音机则可以不需要购买了。如果你对电子设计有兴趣，可以进行万用表的设计。图文摇摇棒是什么呢，就是演唱会上歌迷使用的、用力摇动可以显示文字、图片的那个（《无线电》2008年第2期、第6期有介绍）。还有电子秤使用非常广泛，是否有可能自己做一个呢，答案是肯定的。后面的文章将精选一部分电路分析如何设计与实现。

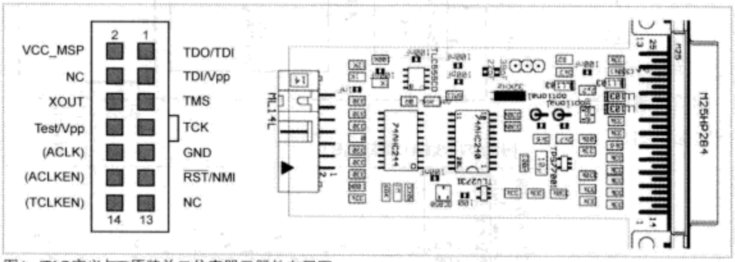


图1 JTAG定义与TI原装并口仿真器元器件布局图

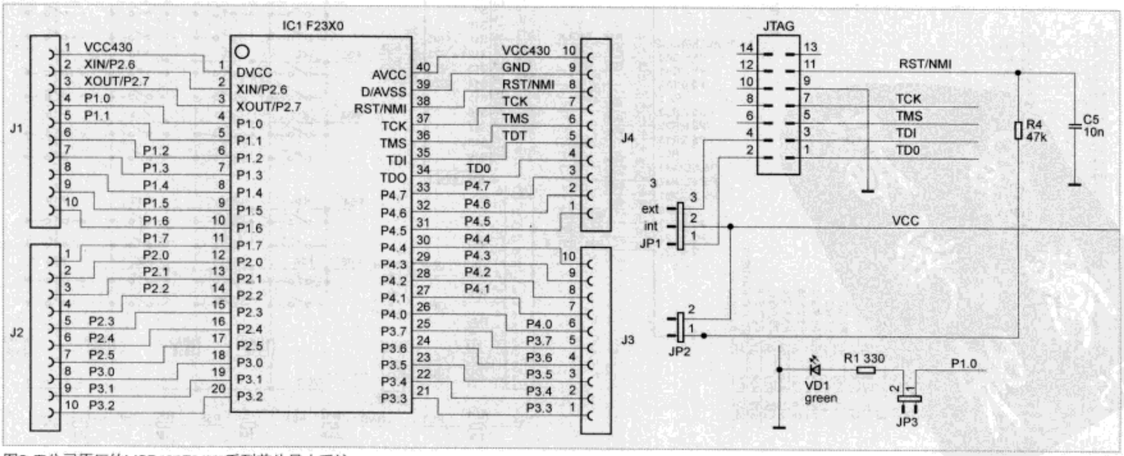


图2 TI公司原厂的MSP430F23X0系列芯片最小系统

时钟计算器

◎魏小龙　邱芝贞

时钟计算器的设计可以作为单片机学习的起步，因为硬件电路相对简单，但是要将软件写得很好也不容易。首先要将软件功能实现，然后各个软件模块安排要合理。先看看硬件设计，在这个设计中，主要使用键盘与显示，而使用了MSP430F413单片机后，设计会变得很简单。图1为MSP430F413内部框图，可以看出该芯片内含16条可以中断的口线——P1、P2，为键盘设计提供了方便，96段液晶驱动能力为显示器设计提供方便，设计的计算器使用液晶显示。而对于在此基础上的附加多功能时钟，使用内部的定时器（Time_A3）即可完成。对于所设计的这个项目还必须低功耗，使用超低功耗MSP430单片机可以很轻松实现，这个时钟计算器用一颗纽扣电池可以工作很久。

对于显示器设计，不要太简单了，参考设计推荐读者使用段码液晶，能显示 10 个数字，还有一些箭头（用于信息提示），只需要将液晶的公共端与单片机的 com0、com1、com2、com3 连接，液晶的段引脚与单片机的 S0、S1……连接。

这个设计由于需要使用大量的键盘，所以只能使用扫描键盘，对于扫描键盘的设计这里不用多说了，相信读者都会。这个设计的完整电路图如图 2 所示。最终的电路板见图 3。

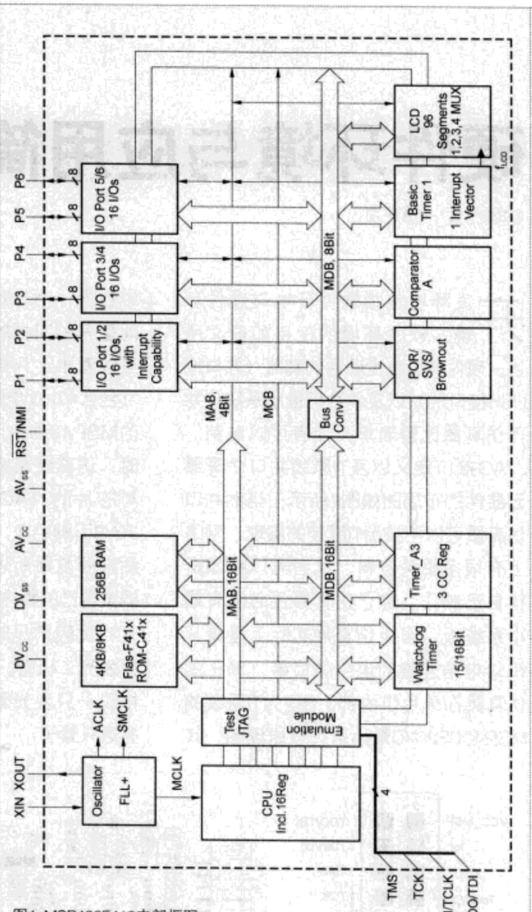


图1 MSP430F413内部框图

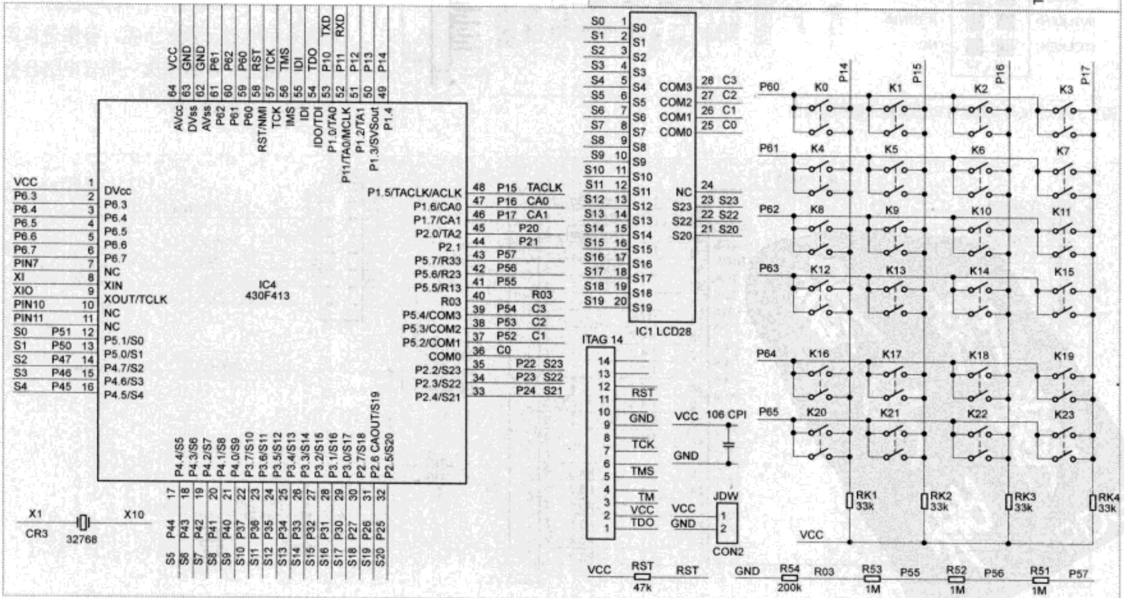


图2 时钟计算器完整电路

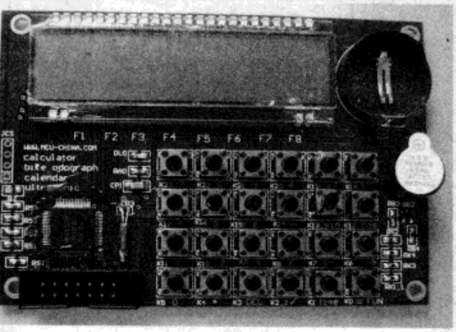


图3 时钟计算器调试完成后的照片

硬件材料清单以及用途：

MSP430F413：单片机

液晶显示器：3V段码、4公共端

电阻若干：复位电阻、键盘上拉电阻、液晶分压电阻等

蜂鸣器：可以用于报警等，对应的三极管驱动电路

纽扣电池：为系统提供电能

32768Hz石英晶体：为系统提供时序

按钮：键盘的构成，数字键、功能键，见图3

在完成了硬件设计之后，将进行软件设计了。软件设计可以分解为这样几部分：基础硬件相关程序、计算器程序、万年历程序、闹钟程序、秒表程序。

在这个设计中，扫描键盘程序、定时器等为硬件相关的，对于显示，只需要将要显示的内容写入对应的显示器缓存即可。整个程序使用低功耗模式：初始化所有的硬件后，进入睡眠状态，以后所有的工作由中断驱动（基本上是按什么键做什么事情）。时钟程序由定时器中断在后台自动执行。

计算器代码设计时，运算基本上没有什么问题，比如各种具体的运算都在C语言的数学库里面有相应的函数可供调用，倒是数字键与功能键的区分需要读者注意，同时数据的输入与数据的输出同样需要读者留意如何实现。比如要做1265×23.19运算，数据1265可以依次按键1、2、6、5，然后输入的数字就是：1×1000+2×100+6×10+5，第二个运算数为2×10+3+1×0.1+9×0.01，但是每一个输入数字的权值如何确定？结果29335.35又如何在液晶上显示？当然是将这些数分开，依次显示2、9、3、3、5、.、3、5即可，对于将数据分开用于显示应该比前面的数据输入要简单得多，这里略。在计算器的基础上添加时钟功能，即对硬件定时器的使用，应该不难，主要是设计标准秒时钟、键盘调用设置时间、设置闹点等。有兴趣的读者可以先将这些功能分开实现，也就是每一个功能为一个单独的项目。在这些都实现了以后，再试着将这些代码揉和为一个项目，同时实现这些功能。这时需要读者考虑如何协调地组织各个代码段。

自行车里程表

◎魏小龙　邱芝贞

自行车里程表的设计同样以MSP430F413芯片为核心。这个设计里面显示与前面的一样，系统需要显示器作为显示，而输入呢，是一个传感器——磁电转换传感器。没有什么神秘的，很简单，一块永磁体与一只干簧管。将磁体粘贴在车轮的辐条上，将干簧管附着在车架上，当车轮转动带着磁体运动，磁体运动到干簧管处将引起干簧管闭合，而当磁体离开干簧管位置，干簧管的两个触点将断开。这样车轮运动一圈将给单片机一个开关信号，通过计数车轮的圈数即可计算出自行车跑的里程。电路如图1所示（单片机系统参照前一篇《时钟计算器》的图2），安装后如图2所示。图中辐条上的为磁体，安装在前叉上的为干簧管传感器。传感器通过引线连接在单片机上（采用《时钟计算器》图3所示的板子），连接点在板子上的左边JCS接口上。当车轮转动，磁体运动到干簧管附近时，干簧管闭合，即是图1所示的JK开关闭合，P11（需要设置为输入）为低电平。当轮子转动，磁体运动离开干簧管时，JK断开，P11为高电平。这样数JK闭合的次数可以感知车轮转动的圈数。

完整的电路读者可以结合《时钟计算器》图2与图1实现。

材料清单以及用途：

MSP430F413：单片机，液晶显示器：可以显示众多内容，干簧管与磁体：传感器，电阻：复位电路以及口线上拉，纽扣电池：提供系统电源，一个按钮：显示用。

那么多的显示内容，一个按钮如何实现？按一次按钮显示一个内容，循环显示。

现在能测量出自行车跑的里程了，想一想，如果再将时间加进来，是不是可以算出速度呢？再增加一些程序，是否可以判断一段时间内的最高速度、最低速度呢？那么总里程数能否累加？如果将运动保健方面的知识增加进来，是否可以计算骑车人的运动总量，判断是否运动适中，是否运动过量，需要停下来休息一会儿等。这些都能实现的！

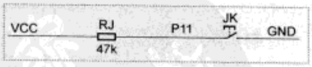


图1 自行车里程表传感器电路

图2 实际的传感器安装

数字音量收音机

◎魏小龙　邱芝贞

接下来看看数字收音机如何设计。可能年龄稍长一点的读者会想起矿石收音机或者电子管、晶体管六管收音机，估计现在的大学生多数不知道什么是六管收音机，它们是由分立元件组装的，与今天相距太远了，科技发展太快了，但是如果你学校的电子实习有安装收音机的项目，你应该知道的。现在很多便携设备上都有收音机的功能，比如手机、MP3、MP4等大多数都带有收音机功能。试想在这些空间非常有限的情况下会不会使用上述六管收音机呢？肯定不会啦！大多使用集成收音机模块。在这里给朋友们介绍的也是这个思路：使用集成的收音机模块。常用的收音机模块有以TEA5767为核心的模块，见图1。这里介绍TEA 5767以及如何与单片机连接，还有数字音量的问题（既然有了单片机，就没有必要使用模拟的音量调节，而使用数字进行音量调节）。

TEA5767为完整的调频收音机解决方案，芯片内部包含高频、调谐等收音机需要的全部电路，通过IIC总线与MCU通信。所以只需要使用两线的IIC总线即可操控该模块，电路图见图2上图，JT为天线连接点。数字音量调节使用LM4811芯片，见图2下图，很小的一个芯片。该芯片通过两线：一线描述音量增加还是减少，另一线提供时钟，如果是音量加，则每给一个时钟，音量增加一挡。最终收音机成品见图3，红色软线为天线，右边为耳机插孔，5个按钮可以实现需要的调节（音量大小的调节、电台选择、频率微调等操作）。

在图3的收音机模块下方有一个玻璃封装的温度传感器，所以这款收音机还可以增加温度计功能，同时可以利用单片机内部的定时器设计时钟。具体详细的设计请读者参考TEA5767与LM4811芯片的资料，这里略。

材料清单与用途：

MSP430F413：	单片机
液晶显示器：	显示
晶体：	提供系统时钟
电阻电容	
按钮：	构成键盘实现操作
收音机模块：	实现收音机功能
LM4811：	数字调节音量
热敏电阻：	温度传感器
耳机插座：	连接耳机

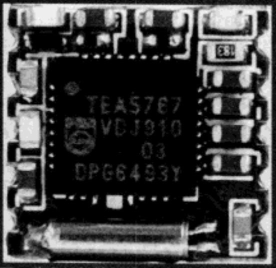


图1 收音机模块图片

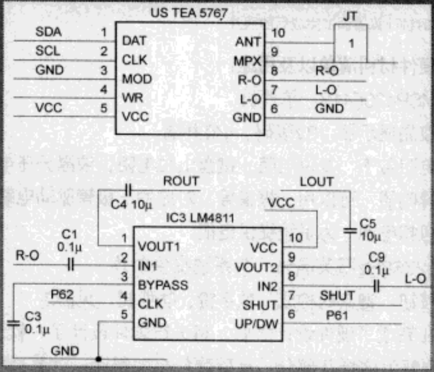


图2 收音机电路与数字音量放大器电路

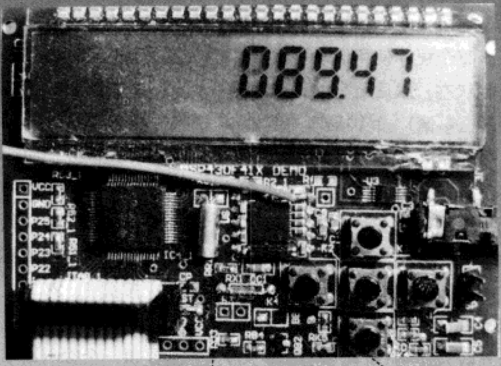
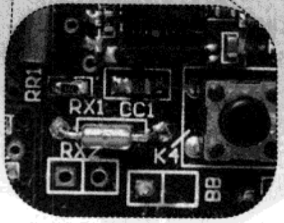


图3 基于MSP430的数字收音机实物



温度传感器

数字万用表

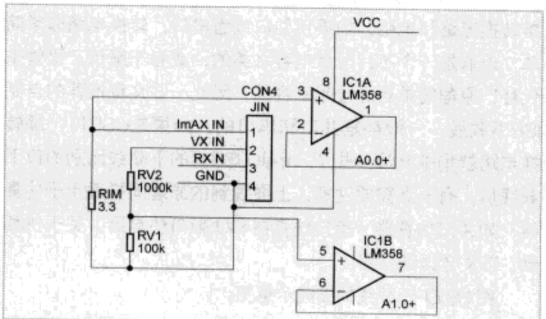
◎魏小龙　邱芝贞

来看看数字万用表如何设计。学电子的读者肯定会使用万用表，如果你能自己做一个，感觉会完全不一样！这里使用MSP430F425即可实现。MSP430F425拥有3个通道16位ADC（带32倍可变增益放大器）SD16模块，带有液晶驱动能力，若干口线，还有一个串口。所以利用这块芯片可以实现测量、测量数据的显示、通信等功能。下面看看具体的万用表如何实现，万用表能测量电压、电流、电阻，这里还利用串口可以将测得的数据传给计算机。

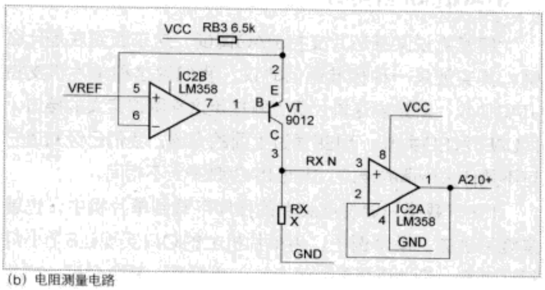
电压的测量应该比较简单，因为芯片本身就含有测量电压的 SD16 模块，在图 1（a）中电压输入点为 VX_IN，通过 RV2、RV1 分压后再利用放大器缓冲，然后送入模拟通道 A1.0+ 端子，进行模数转换。为什么要分压后再测量呢？读者先想想看，我后面再说。

电流的测量电路见图1（a），电流输入点为ImAX_IN，输入电流通过电阻RIM后，得到对地电压，该电压经过运放缓冲后送SD16的模拟输入A0.0+端子，进行模数转换。

电阻的测量，电路见图1（b），首先该电路产生一个恒流源，该恒流源流经被测电阻RX，在被测电阻RX上产生一个对应于电阻的电压，该电压经过运放缓冲后送SD16的模拟输入A2.0+端子，进行模数转换。



（a）电压与电流测量电路



（b）电阻测量电路

图1 测量电路

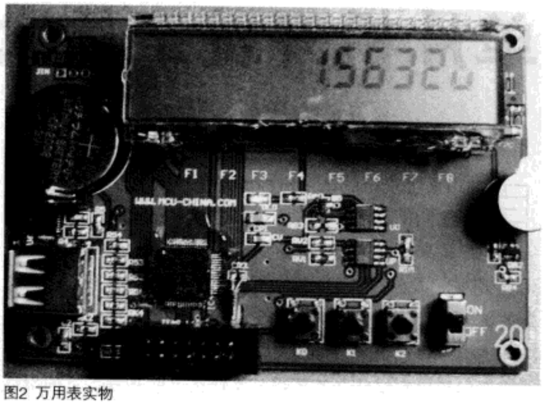


图2 万用表实物

图1为测量部分的核心电路，其余的电路与前面时钟计算器电路基本相同，主要是液晶显示器电路，还有通信电路。通信使用USB转串口芯片CP2102，因为现在电脑较少有串口，所以使用这款芯片在计算机上得到一个额外的串口，单片机也有一个串口，这两个串口交叉相连就可以通信了。最终设计的实物如图2所示：上面为液晶显示器，中间为测量电路，下面为3个按钮。可以实现测量的显示选择，右边为蜂鸣器，可以实现超量程报警的功能，左边上面为测量输入端子、中间为电池、下面为通信接口，当然整个系统的核心为MSP430F425芯片。

看到这样的万用表，如果是你自己设计出来的，是不是很开心？现在回头来看看前面的一个问题：为什么要输入电压分压后再测量？原来MSP430芯片的SD16内部还带有32倍可变增益放大器！这就是原因。电路使用了1000:100的分压，这样可以测量的电压范围就很宽了！先衰减后再测量。而对于小信号，也没有关系，片内还有32倍放大器。

如果读者有兴趣，在这个电路基础上增加量程选择部分，则可以实现更宽范围的输入。增加衰减、再增加模拟开关，选择挡位。

材料清单与用途：

MSP430F425：单片机（含测量显示驱动通信等功能），液晶显示器：显示，按钮：选择测量参数等，LM358或其他运算放大器，9012三极管：恒流源实现以及蜂鸣器驱动，电阻电容，CP2102：USB转串口芯片实现与计算机通信功能，电源稳压器：为电路提供稳定电源，注意前面的设计都没有这芯片，因为前面的设计不需要稳定的电源，但是这个设计必须稳定电源。

单片机开发工具大探秘

◎马晓晶

目前市面上流行的单片机种类繁多，就连传统的51单片机都推出了增强型产品，如STC系列和C8051F系列等，但是越来越多的电子爱好者已经不满足于玩转51了，开始尝试PIC、AVR、MSP430等不同风格的新鲜货，可是面对琳琅满目的开发工具，很多人又都看花眼了：怎么一会儿是ISP下载线，一会儿是支持JTAG调试，一会儿又是USB口仿真器，它们到底都是什么关系啊？为什么这些开发工具的价钱少则几十块，多则就好几百上千元呢？到底差别在哪儿啊？本文就是带着您搞懂这些概念，让您以后在购买开发工具时，可以有的放矢，甚至可以决定要不要自己做一个试试。

STC单片机的下载线可以和AT89S51的通用吗？

提到下载线，就不得不提ISP，说起51单片机，就不得不说ATMEL公司的89S51。先说前者，ISP的中文名字是在线可编程，也有翻译成在系统可编程的。什么是编程？通俗来讲就是往单片机里烧写程序。显而易见，在线可编程就是当单片机和一群外围电路焊接在电路板上时，不用把它费劲地取下来，而是通过几个外接引脚就可以直接给它烧写程序。相反，如果取下来放到编程器上再烧写，那就不叫“在线”而叫“离线”了。

有了上面的分析，我们就可以这样理解ISP下载线：它的一端接单片机，另一端接电脑，是单片机和电脑通信的桥梁，有了这座桥梁，才可以把电脑上编好的程序烧写到单片机中。但是这个桥得有“梁”支撑着，也就是说这ISP下载线上得带个转换电路，这样才能把单片机和电脑的电平匹配好，它们之间才能通信。

那单片机和转换电路怎么连接呢？也就是它和ISP下载线怎么连接呢？这就说到点子上了。对于STC单片机，用的是它的UART接口，也就是串行口，通常说STC单片机可以串口下载程序，指的就是这个接口。对于AT89S51，用的是它的SPI接口。接口都不同了，虽说同为51门下的兄弟，下载线自然就不可以通用了。

并口 ISP下载线，串口 ISP下载线，USB ISP下载线，怎么这么多口，价格还不一样？

这是在购买开发工具时常碰到的问题，老板会说USB口的好，但是贵点，想要便宜的那就买串口吧。并口的？对不起，已经不卖了。那我们就纳闷了，不就是个接口嘛，干嘛

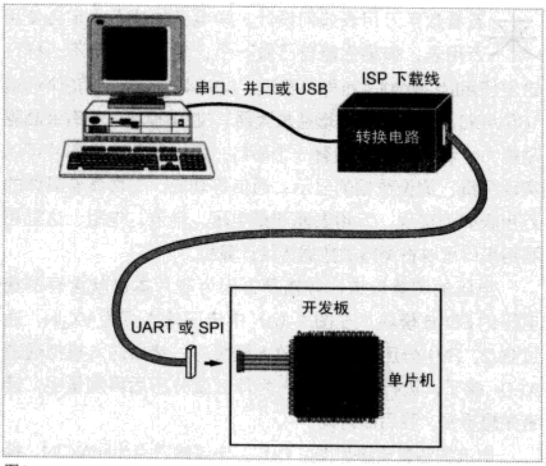


图1

价格差别这么大？

所谓的这些并口、串口和USB口指的是电脑上的接口，用这些接口一端连接ISP下载线，一端连接电脑，也就是连接转换电路和电脑。如果用并口或者串口，转换电路非常简单，无非是一个芯片配点电容之类的，或者干脆用三极管来代替，原理简单且焊接起来容易。因此一些文章推荐的自制ISP下载线，一般都是并口和串口的。如果是USB口，那转换电路就稍微麻烦一些了，因此USB口的下载线比别的口下载线贵。有一点需要注意，上面说到的原理同样适用于仿真器，如并口仿真器、串口仿真器和USB口仿真器。关于仿真器，下文会详细介绍。

图1是ISP下载线的接线示意图。

JTAG比ISP好用吗？

经常听说某某芯片支持JTAG调试，这东西到底是什么啊？其实就是一种标准通信协议，我们说这种单片机支持JTAG协议，就是说这单片机上有按照这种协议定义的接口，同UART和SPI类似。而ISP通过上面的介绍，我们已经知道它可不是什么所谓的接口，因此JTAG和ISP大不相同。

ISP下载线只能将电脑上的程序下载到单片机中，也就是烧写进去。举个例子：用单片机上的IO口实现让8个小灯循环点亮，设计思想是每隔1s，一个灯亮，其余全灭，如此循环。对于ISP下载线，调试时只有把这个程序写好了，烧写

进去，再给I／O口上接上小灯，通电后看看亮不亮，循环不循环，如果有问题，那就再改程序、烧写、看结果，如此往复，直至达到预期效果。这对于初学者来说，不容易找到问题所在，如果程序再复杂一些，调试就更难了。如果是JTAG调试就简单多了，把程序烧写进去后，既可以观察小灯的运行情况，也可以通过软件看I／O口寄存器，看是不是每隔1s就有一个口变成高电平，如果不是，那就设个断点或者单步运行，一步一步去找问题所在，直到程序达到预期效果再烧写，一切就好了。

这也就是说JTAG接口除了具有ISP下载线的在线编程等全部功能外，还可以在线仿真，即可以查看单片机的内部寄存器，给程序设置断点之类的操作，这就极大地方便了程序调试。因此连接单片机上JTAG接口与电脑并口、串口或USB口之间的转换电路，就可以叫做仿真器了。

图2是JTAG调试的接线图，也就是在线仿真器的接线图，它和ISP的区别主要在于单片机的接口上。

既然JTAG这么好，那51单片机为什么不用呢？

只有16位以上的微控制器，比如NXP公司的ARM系列，TI公司的MSP430单片机等才具备JTAG接口，因此它们支持JTAG调试。当然有部分AVR和PIC系列单片机的高端芯片也支持该接口。因为是高端芯片，所以一般都是16位以上的，因此可以理解为16位以上的单片机支持JTAG协议。值得注意的是AVR和PIC的低端芯片，比如8位芯片就不支持JTAG协议。但PIC的低端芯片可支持ICSP协议（同JTAG相似的一种协议），高端芯片两者都支持。而51系列单片机根本就没有JTAG接口（C8051F除外）和ICSP接口，所以对于51单片机的开发，业余爱好者一般都用ISP下载线，商用开发一般会用

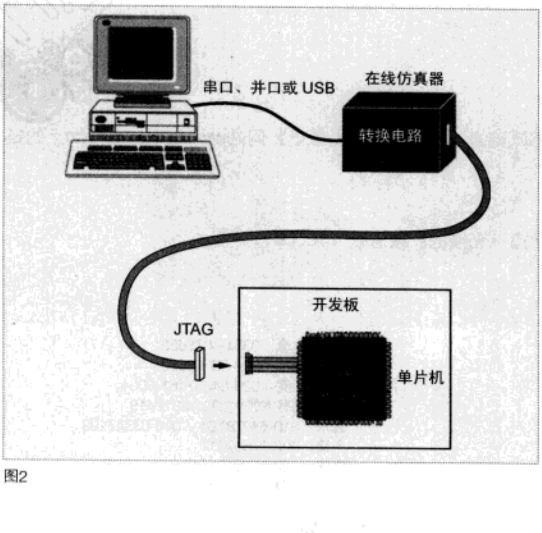


图2

实时在线仿真器，基于JTAG和ICSP接口的仿真器是在线仿真器，下面就来介绍它们。

仿真器是什么？

仿真器可以理解为上文提到的转换电路（ISP下载线上的转换电路除外），用它来连接单片机和电脑后，可以通过电脑上的软件控制程序运行，查看寄存器，设置断点等操作，所以ISP下载线可不是仿真器哦！但是如果单片机和转换电路是JTAG接口连接的，那这个转换电路可就是仿真器了。但要注意的是它仅仅是在线仿真器，真正的仿真器叫实时在线仿真器！

两者最明显的区别是：在线仿真器既可以仿真，也可以对芯片进行烧写；而实时在线仿真器只可以仿真不可以烧写。那读者肯定要问，在线仿真器功能这么多，怎么还不是真正的仿真器，而且价格还比实时在线仿真器便宜不少呢？答案就是两者仿真性能不一样。

怎么仿真器还有在线的和实时在线的？

通过上文的介绍，我们知道如果一个芯片有JTAG接口，那么和它连接的转换电路就是仿真器，是在线仿真器！先来看一下它和实时在线仿真器的原理：

1. 在线仿真器：是通过仿真器与目标芯片的JTAG接口或ICSP接口连接后，将调试执行程序和源程序烧写入目标芯片，其程序运行与调试均在目标芯片中进行，也可理解为依附于目标芯片才可以运行和调试。

2. 实时在线仿真器：是指程序的运行和调试在仿真器与目标芯片中同时进行，也可理解为在仿真器的仿真芯片中进行，即用仿真芯片仿真了目标芯片，所以这种工具才叫仿真器，这也才是真正的仿真器！此时要注意两点：第一，程序并没有烧写到目标芯片中；第二，程序的运行和调试不依赖目标芯片，即目标芯片有没有都无所谓，照样可以出结果。

通过小例子看仿真器区别

现在以美国Microchip公司为它旗下的PIC系列单片机设计的仿真器为例来具体说一下这两种仿真器的区别。Microchip公司生产的PIC在线仿真器现在升级为MPLAB ICD3，实时在线仿真器叫MPLAB REAL ICE Emulator。

1. 由于在线仿真器在仿真调试的整个过程中，要占用目标芯片的接口，即JTAG或ICSP接口，所以会占用芯片本身的硬件资源。而在调试过程中除了会烧写正常的程序（源程序），还需要烧写一小段调试执行程序，这就会占据程序存储器的高端地址，所以又会占用芯片本身的软件资源。这样芯片中被占用接口的功能就无法实现仿真，并且程序存储器

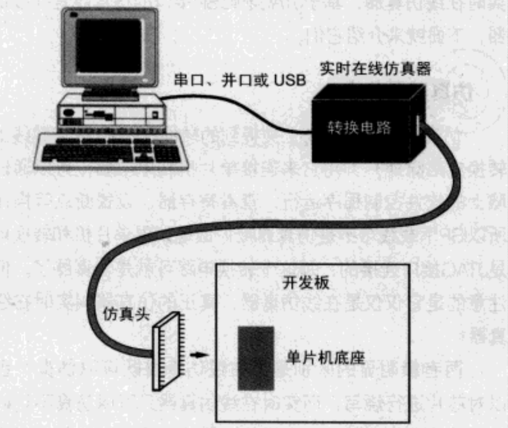


图3

的高端地址不能使用，但其实这些问题在实际使用中影响不是很大。而实时在线仿真器由于其仿真调试不是在目标芯片中进行（上文说过在仿真芯片中运行），所以不会出现上述的问题。

2. 在线仿真器在仿真过程中不仅需要正确连接目标芯片，该芯片还要有一个正常运行的时钟，即要把晶体连接好。而实时在线仿真器则可以通过软件设置目标时钟，也可以理解为不需要晶体，并且不需要目标芯片。就是说只用一个仿真头就可代替芯片，用仿真头就能和外围电路连接看运行结果，很强悍的哦！在调试期间，实时在线仿真器本身提供了最强大的仿真功能以获得系统所有的功能，而在线仿真器只有在系统的所有连接都完全正常时才能调试。

3. 在线仿真器也有一个自己独特的优点，在系统量产后，仍然可以在做好的电路板上放置一个接口插座，就是引出几个引脚，用这个与在线仿真器连接，可以方便地测试、调试和再编程。而实时在线仿真器则需要取下单片机后再插上仿真头才可以实现如此的功能。

图 3 是实时在线仿真器的接线图，只要把仿真头插入开发板的单片机底座上，不需要芯片就可看到外围电路运行结果，比如小灯点亮等。或者干脆不将仿真头插入开发板的单片机底座，通过电脑查看内部寄存器也可获得程序运行情况。

市场上买到的仿真器是在线仿真器还是实时在线仿真器？

如果你用到的芯片支持JTAG接口，那你买到的仿真器绝大部分都是在线仿真器，这是目前市场上的主流。根据它与电脑接口的不同，分为并口仿真器、串口仿真器和USB口仿真器，并口的基本淘汰了，USB口的会比串口的贵一点。

如果你用的是传统的51单片机，那么你买到的要么是ISP下载线，要么是真正的仿真器——实时在线仿真器，当然价格要比JTAG的在线仿真器贵很多，因品牌不同大概一千元左右。那么51单片机就这么无可救药了吗？没关系，用C8051F系列，它可是支持JTAG的哦！

如何购买《无线电》杂志

亲爱的读者：

您可以采用以下方式购买《无线电》杂志：

1. 随时到各地邮局订阅。

2. 拨打11185上门收订。

3. 24小时网上订阅：*http://bk.chinapost.com.cn*（中国报刊邮政订阅网）或通过《无线电》网站*www.radio.com.cn*上的链接订阅（支持在线付款）。

网上订阅客服电话：400-6611185（免费）。

4. 到本杂志社邮购：邮购地址：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社（100061）

咨询电话：010-67134361　咨询邮件：*lijia@ptpress.com.cn*。

5. 联系各地零售商，联系电话如下：

河北 石家庄：0311-87035648、0311-83028585
辽宁 沈阳：024-86543766
大连：0411-84522195
吉林 长春：0431-82731957
江苏 南京：025-83200744
江苏 苏州：0512-65296805
山东 济南：0531-82904601
浙江 温州：0577-86057222
湖北 汉口：027-88035778
广东 广州：020-34281039
贵州 贵阳：0851-5984895
甘肃 兰州：0931-8513488
浙江 杭州：0571-88256120
云南 昆明：0871-4175865
湖南 长沙：0731-4417535
江西 南昌：0791-8820509
山西 太原：0351-4072655
四川 成都：028-86663652
陕西 西安：029-84337461-8004
新疆 乌鲁木齐：0991-5817418
北京：010-64078794 、010-63347193
天津：022-27697311
重庆：023-86061013
上海：021-62172483

温度采集也无线（硬件设计）

◎陈庚

本刊今年第3期为读者介绍了用单片机发射红外信号进而遥控电视机，并最终验证其编码的正确性，本文将介绍如何在其红外编码核心程序的基础上进行无线数据的收发，实现多点温度值的采集，并将采集到的数据显示在PC端的VB程序上。

首先需要说明，此无线收发系统的工作方式属双向半双工方式，在任何时刻都只能有一个红外发射管发射红外信号。整个系统分为主控板和温度采集板两部分，主控板一片，温度采集板视情况设置多个。每个电路板都有一个一体化红外接收头和至少一个红外发射二极管，以实现双向数据通信。

本收发系统采用普通红外器件来实现其数据收发功能，一体化红外接收头和红外发光二极管相信大家都很熟悉，其价格也相当便宜。无线功能就靠此两种器件实现，它们的具体性能对电路的功能影响较大。特别是红外发光管，它是用发光波长来区分型号的，发光波长会对收发距离产生很大影响，一般940nm的品种距离就比较远了，理想情况下有的品种据说可达20m左右，不然距离太短就没有意义了。我先前对这点也不太了解，错误地选择了波长较小的品种，结果使收发距离小到1m以内。所以大家购买时一定注意向销售商询问，以免走弯路。至于红外接收头，只要是好的，对收发距离没什么影响。

下面就具体说说硬件电路的搭建。总的来说主控板和温度采集板仍属单片机最小系统的范畴，基本上靠一片AT89C2051和几个阻容元件以及温度传感器，再加上接收头和发射管就能完成最基本的功能。温度采集板中为了增加功

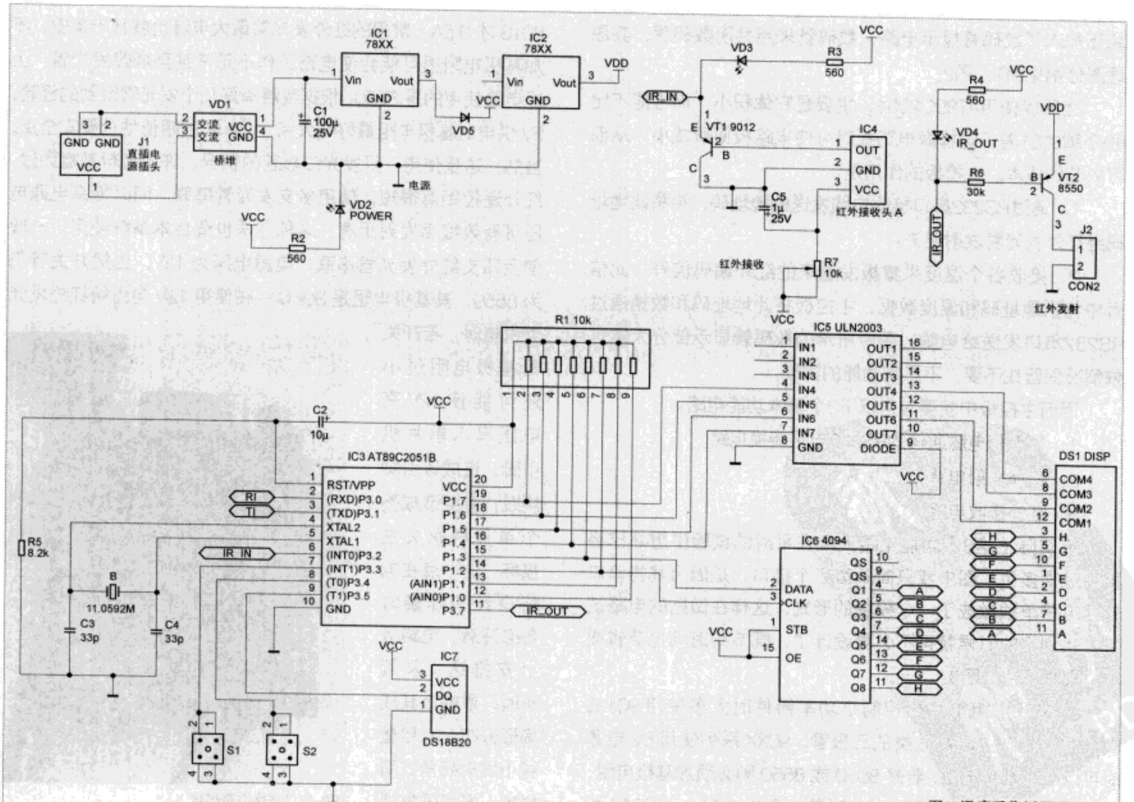


图1 温度采集板原理图

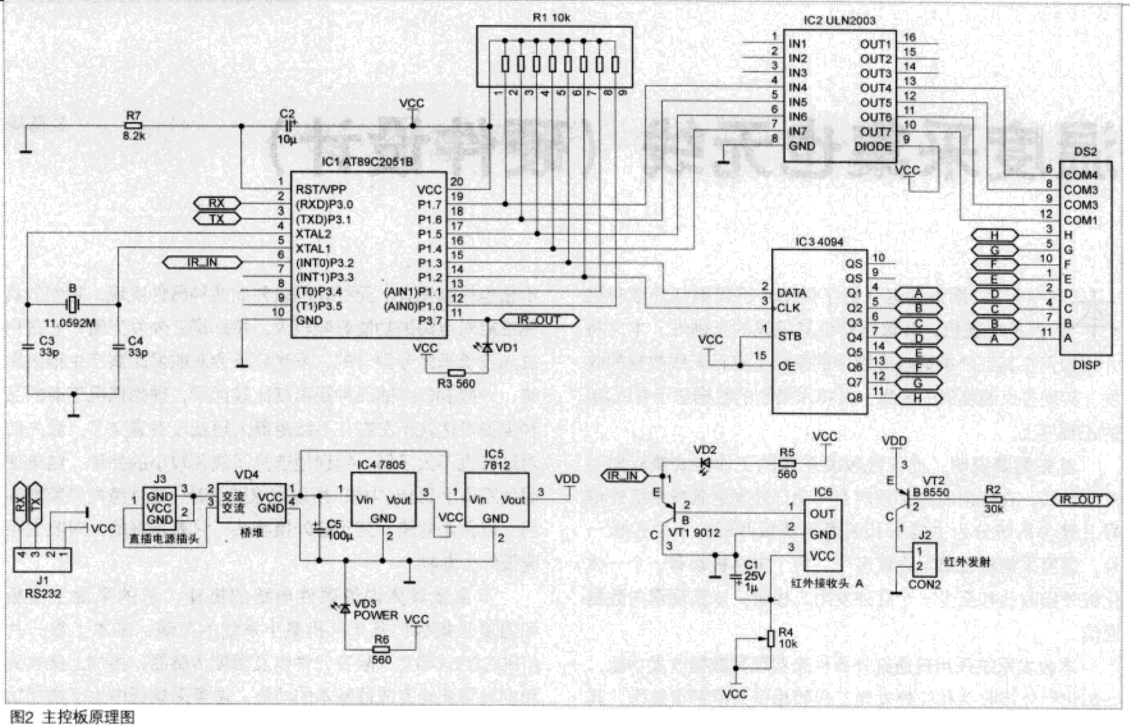


图2 主控板原理图

能还加入了数码管显示电路，数码管采用共阴数码管，其原理图分别见图1、图2。

之所以使用AT89C2051，主要是它体积小，而性能不比40个脚的51差，这样做电路板时可使电路板面积减小，从而可以节约成本。主控板的作用是：

1．通过RS232串口接收电脑发送的地址码，再将此地址码经红外发光管发射出去；

2．接收各个温度采集板发送来的红外编码信号，此信号中包括地址码和温度数据，主控板将此地址码和数据通过RS232串口发送给电脑，图中所示的数码管显示部分大家可依情况保留或不要，不影响功能的实现。

因而主控板中就要包含以下3个基本功能电路：

1．负责和电脑通信的RS232电平转换电路；

2．红外发射电路；

3．红外接收电路。

而实际上这3个功能电路大家在平时的试验中想必已经接触过很多了，图中我只简单留了个接口，是因为我将串口转换电路单独做成了一个模块的形式，这样在做别的电路试验要用到它的时候就可不必再设计了，既节约时间也节省成本，实物照片见图3。

通常我们用单片机控制小功率器件时大多使用9012、9013或8050、8550之类的三极管。90XX系列使用5V电源时可以不加基极电阻，若是8050或8550则必须加基极电阻，因为8050和8550的集电极电流最大可达1.5A，而9012和9013才0.5A。常用的红外发光管最大电流也就几十毫安，不加基极电阻很可能会使电路工作不正常甚至烧毁发光管。上述电路使用的是8550，根据我烧掉好几个发光管得到的经验，5V供电时基极电阻最好选大点，10kΩ的阻值估计要安全点。当然，这是使用一只发光二极管的情况。许多资料都提到过，红外遥控距离很短，使用多支发光管串联，同时提高电源电压可有效提高发射距离，这种方法也适合本系统使用，一般使用四支红外发光管串联，电源电压为12V，当然开关管仍为8550，其基极电阻是30kΩ。在使用12V电压给红外发光管供电时，若开关管基极电阻过小还可能使12V高电压串入单片机引脚，造成该引脚烧毁，甚至造成整个单片机永久性损坏，这一点在电路设计和焊接时务必注意。电路板上安排这4只管子时，最好让其成扇形分布，以尽量减小发射死角。同样地，温度采集板

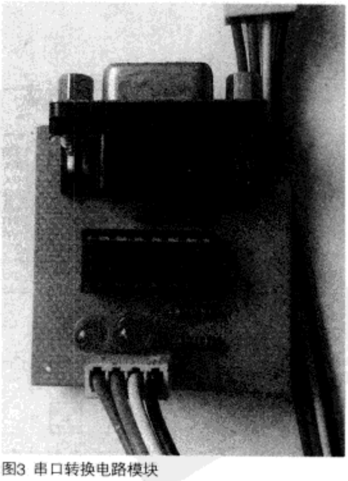


图3 串口转换电路模块

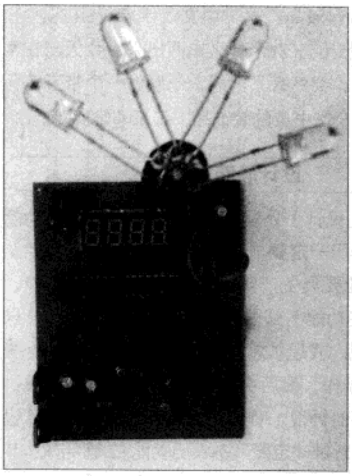


图4 温度采集板实物图

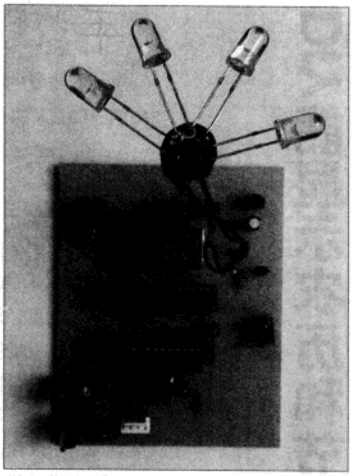


图5 主控板实物图

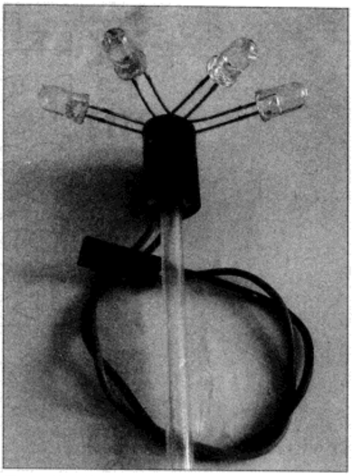


图6 天线形状的红外发光管

上也有红外发射电路，因而四支管子串联的方法也适用于温度采集板。图 4、图 5 是主控板和温度采集板，从图中可看出，我将红外发光管固定在一塑料小杆上做成了个天线形状，电路板和发光管间用插接件连接，给人感觉就像个天线，见图 6，这样做还是很有创意。

相比较而言，主控接收板只是起了电脑和温度采集板之间的中介作用，因而温度采集板才是本系统的主角。温度采集板中除了红外收发电路外，还有个关键电路就是温度采集部分，本系统使用大家熟悉的DS18B20温度传感器来测量温度值。许多资料上都介绍过它，具体电路也很多，本文使用较常见的一种电路连接方法，只要大家按要求来搭建此电路基本上都可正常工作，具体电路见图1。

另外温度采集板中还安排有 2 个独立式按键和 4 位数码管，用于人机对话。按键在程序中暂时还未安排其功能，读者可以在看过程序介绍后依自己需要而加入，4 位数码管可用于显示本机所测量到的温度值。AT89C2051 的可用 I/O 端口较少，前面已有红外收发和温度采集功能，如果 4 位数数码管采用扫描方式显示则会使端口资源紧张，因而用串行转并行芯片 CD4094 外加达林顿驱动集成电路 ULN2003 来构成显示单元，可节省 6 个端口，供以后硬件扩展。虽然这样一来程序写法要相对复杂点，但对于刚接触单片机的爱好者来说可多学点额外的知识，即用串行方法驱动数码管。本套系统的电路完全可当成单片机学习板来用。不过数码管显示的缺点之一就是占用时间过多，因为要不停地执行显示程序，如果长时间不执行显示程序则显示上会出现闪烁，而温度采集板使用外中断来接收红外信号，其至少会占用好几毫秒甚至几十毫秒的机时，在这期间无法执行显示程序，这样必将使数码显示出现闪烁。当然也有网友提出一些好的程序上的解决方法，但这又会使程序复杂性和难度大增不利于初学者使用。以我个人之见，较为彻底的方法是使用 1602 字符液晶显示器，本文中未使用则是考虑到成本因素，DIY 爱好者同样可根据个人情况选择是否使用，当然为了节省端口，也只能选择带串行接口的字符液晶。节省下来的端口则可加入其他一些功能电路，比如按键或者蜂鸣器，甚至可使用 I^2C 接口的存储器，比如 AT24C01 一类，用于数据的保存，这样一来就可使这小小的电路功能多样化，变得更为实用。

若严格按本文给出的电路图来搭建电路则基本可以成功，集成电路全部采用专用的底座。将集成电路的底座和其他元器件焊好后通电，若电源指示灯亮则说明电源没有问题，不然则要对相关电路再作检查。电源通过后再用万用表电压挡对每个集成电路的电源端作检测，看电源电压是否正确，极性有否接反。最后是对红外收发的调整，找一个家电遥控器对准红外接收头按下任意按键，若发光管闪亮则说明工作正常。若无信号时也有闪烁则说明电源电压不正确，可通过调整与其串联的可调电阻调到无信号时无闪烁时为最佳。红外发射电路中未给集电极加限流电阻，因而在无信号时仍有一定的漏电流通过红外发光管。所以在加电情况下用手机上的摄像头对准发射管并打开手机照像功能，若从手机屏幕上能看到发光管发的亮光则可判断电路正常，这个方法是我买发光管时老板告诉我的，大家也可用此法来检测发光管是否完好。不加限流电阻虽可加大输出电流，但因为漏电流的存在，会缩短管子的使用寿命，因而为减少麻烦还是有必要加入。

DIY能显示农历和节气的12864液晶万年历时钟

◎杨黎民

手里有2块12864液晶，是带中文汉字库（ST7920）驱动。一直想用它DIY个什么东西出来，今天坐在家里，看到我的书桌，突然来了灵感，干脆做一个带万年历的时钟，一来作为个性书桌的装饰品，二来非常实用。

设计思路

说干就干，先设计了外观是倒V字型的，其次在功能设计上，这个万年历一定要与众不同，要有自己的特色。首先最基本的功能要具备：年、月、日、时、分、秒、星期、温度。这些功能倒都很容易，DS1302再加上一只DS18B20就能实现。我想了想，又在网上查阅了其他一些DIY爱好者的时钟制作，最后决定在这4个方面进行突破：一是网上的万年历时钟很少有带农历的，因为农历计算很复杂，所以我这个时钟一定要具备农历功能;二是要有24节气和生肖显示功能;三是我这个时钟要有播放音乐功能，四是在时钟上加上家人朋友的重要节日提示，如生日、纪念日等。这样我的时钟就会非常个性化。

硬件设计

接着就开始设计电路，电路见图2，12864液晶使用标准并行通信接口，新手朋友一定要注意，12864液晶一定要在第3脚V0到第18脚VOUT之间焊接一个5～10 kΩ的电位器，它是用来调节液晶背光的。我刚开始忘记焊这个电位器，结果液晶屏无显示，弄了半天才发现这个原因。时钟芯片DS1302采用标准电路。温度测试选用数字传感器DS18B20。为了使播放的音乐声音洪亮，我放弃选用无源蜂鸣器，采用电动扬声器，在一个废弃的儿童玩具上拆下一个16Ω的小扬声器。由于采用了扬声器，若用一只三极管驱动会出现驱动困难，为了使电路简单，不采用专用功放电路，使用了2只NPN的三极管S8050组成达林顿管来驱动扬声器。整个电源用一个5V手机充电器的开关电源代替。

图1

动手焊接

下面就开始动手了，我是先硬后软，先把硬件部分做好。翻开我的电子元件柜，找到一张洞洞板，根据我手中液晶屏的尺寸裁剪成80mm×130mm的2张板，一张作前面板，一张做后面的支撑板。时钟芯片DS1302家中有现货。其他一些主要元器件，如按钮、开关、电阻、电容，找齐花了不到1个小时，焊接完成。用热熔胶把扬声器固定在支撑板上，然后找到2段铁丝，在2个洞洞板顶部左右各钻一个孔，用铁丝穿过，固定焊好的效果见图1。图4为我选用的128×64液晶显示器的正反面图。

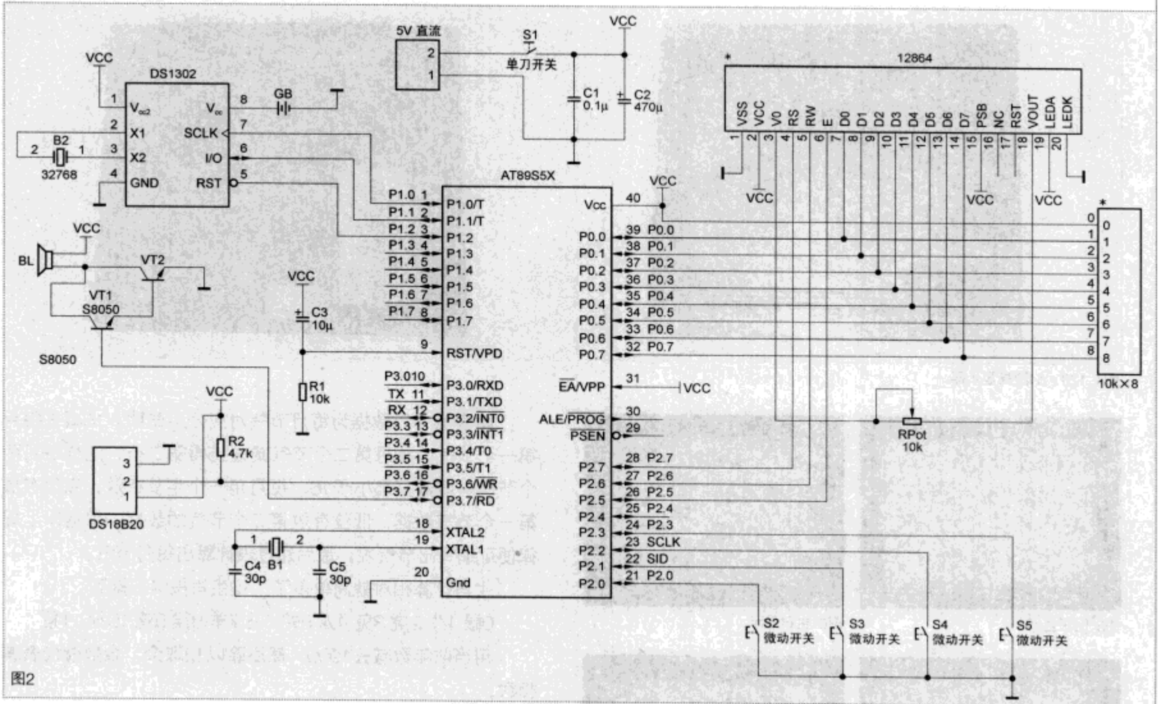


图2

软件设计

为了提高软件设计效率，我先搜索了一下网上的时钟程序，最后选用了网上很流行的杜洋的时钟程序。我仔细阅读并试验这个程序，发现有很多不足的地方：1. 没有农历、节气显示；2. 不能对秒进行调整，这样误差很大；3. 温度没有负温度显示功能；4. 界面比较死板。因此决定以他的程序为基础进行修改，添加上了我的4个功能。

公历转换农历

公历与农历是我国目前并存的两种历法，各有其固有的规律，农历与月球的运行相对应，其影响因素多，它的大小月和闰月与天体运行有关，计算十分复杂，且每年都不一致，因此要用单片机实现公历与农历的转换用查表法是最方便实用的办法。

计算公历日对应的农历日期的方法是先计算出公历日离当年元旦的天数，然后查表取得当年的春节日期，计算出春节离元旦的天数，二者相减即可算出公历日离春节的天数，以后只要根据大小月和闰月信息减一月天数，调整一月农历月份，即可推算出公历日所对应的农历日期，如公历日不到春节日期，农历年要比公历年小一年，农历大小月取前一年

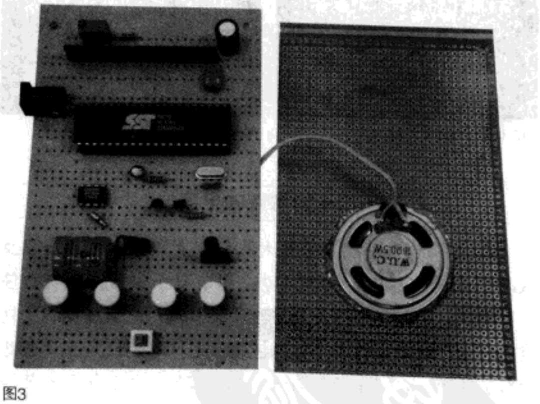


图3

的信息，农历月从12 月向前推算。

本文介绍的公历转换农历C语言程序实现从1901 年到2099 年199 年的公历日到农历转换，如果到2099年后则要添加农历表，但我相信199年对我们现代人已经足够了。在功能函数入口输入BCD公历数据函数，出口直接输出BCD农历数据。农历显示按照人为习惯都是用大写显示，比如："1号"应该显示为"初一"；"21"应该显示为"廿一"；"12月"应该显示为"腊月"等。

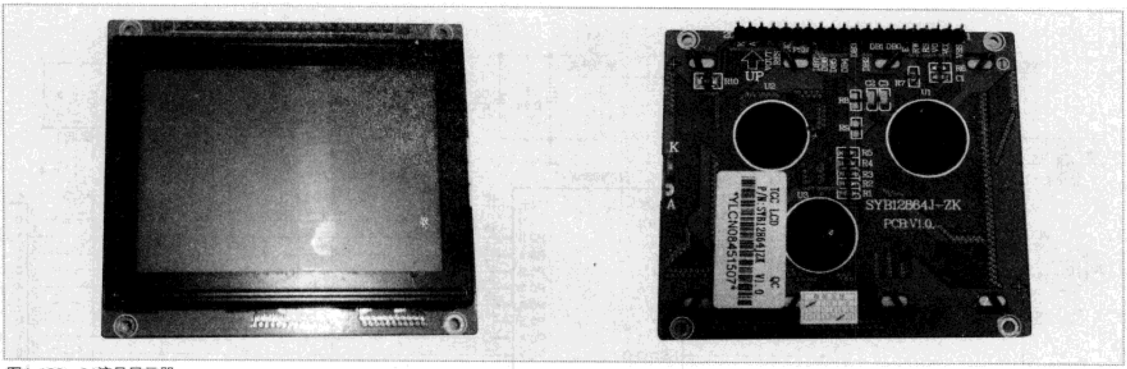


图4 128×64液晶显示器

图5 时段显示

图6 生日显示

图7 时间调整

图8 节日显示

二十四节气和生肖

二十四节气是我国劳动人民创造的辉煌文化，它能反映季节的变化，指导农事活动，影响着千家万户的衣食住行。有人认为二十四节气从属农历，其实，它是根据阳历划定的。即根据太阳在黄道上的位置，把一年划分为24个彼此相等的段落。也就是把黄道分成24个等份，每等份各占黄经15°。由于太阳通过每等份所需的时间几乎相等，二十四节气的公历日期每年大致相同：上半年在6日、21日前后，下半年在8日、23日前后。

二十四节气没有固定规律，也需要存表。如1901年的节气见附表。

附表

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
6,21	4,19	6,21	5,21	6,22	6,22	8,23	8,24	8,24	8,24	8,23	8,22
9,6	11,4	9,6	10,6	9,7	9,7	7,8	7,9	7,9	7,9	7,8	7,15

附表第一行数据为每月节气对应公历日期，15减去每月第一个节气，每月第二个节气减去15得第二行，这样每月两个节气对应数据都小于16，每月用一个字节存放，高位存放第一个节气数据，低位存放第二个节气的数据，根据以上规律便可编写出节气表，最后通过表计算出每月节气。

生肖计算相对就简单多了。12生肖按以下排列：

0鼠 1牛 2虎 3兔 4龙 5蛇 6马 7羊 8猴 9鸡 10狗 11猪

用当前年数减去1900，然后除以12取余，余数就代表属相数。

1．例如：1982年

（1982-1900）/12=余10

即1982年生的人的属相为狗年。

2．2009年

（2009-1900）/12=余1

即2009年生的人属相为牛年。

调试结果

软件设计、修改是比较麻烦的事情，前后通过我3天调试，再修改，终于制作完成了我的精致的智能家庭宝贝——12864液晶万年历时钟。其设置和工作界面见图5~图8，友好的开机界面，具备年、月、日、时、分、秒、农历、节气、生肖、温度显示功能，年、月、日、时、分、秒、农历都可以调整，具备整点报时功能。歌曲播放整机存储了一首我最喜爱的《天空之城》，播放声音清晰洪亮。使用这么简单的元件，能达到如此音质，我已很满意了。歌曲可根据喜爱更换，只要你的单片机有剩余容量，也可以添加多首歌曲。其次就是家人重要节日显示功能，把家人的生日、结婚纪念等重要节日时间添加进软件，特别重要的日期会提前2天提示，程序里已经基本包含了公历节日和农历节日信息，如果同一天有多个节日或重要事项，会在第四排间隔2秒交替显示，这样很实用，就再也不会忘记重要的日子了。

单片机开发常用工具大比拼

◎马晓晶

近年来介绍单片机开发工具的文章多以51单片机为主，可是越来越多的电子爱好者已经开始尝试PIC、MSP430，甚至是ARM这种新鲜玩意了，因此，选购一款适合的开发工具就显得非常重要。但是这些 型号的单片机在很大程度上不同于51，所以选购起相应的开发工具来会有一些差别。本文将带着您来搞定这些功能各异的开发工具，看过此文，相信您会很快决定是去就近的电子市场购买还是去网络上邮购了。

初步认识开发工具

一般来说，一套单片机的开发工具应该包括仿真器（51单片机多是ISP下载线）、开发板、集成开发环境（也就是上位机软件）、配套例程以及使用说明书。

仿真器和软件配合，通过上位机软件，仿真器对单片机程序进行调试或下载。开发板和配套例程配合，因为单片机程序都是以硬件为基础的，所以脱离了开发板，程序就对不上号了。使用说明书用来告诉我们怎样连接仿真器、开发板和电脑，怎样安装上位机软件，以及它们怎样配合才能跑起来我们的第一个程序。

由于单片机、仿真器和软件这三者一般不是出自一个厂商，所以兼容性很重要，以免动不动就出现无法通信或者是正在调试时程序无法下载的问题。另外，开发板上有什么模块，就应该提供相应的例程，如果开发板上有液晶模块，而例程里没有，那就苦坏了用户。最好还要有开发板的电路原理图和芯片手册，方便用户学习查阅，这些资料厂商一般都会提供。

Microchip公司的PIC系列单片机

PIC系列单片机的官方仿真器有两种，分别为在线仿真器MPLAB ICD3和实时在线仿真器MPLAB REAL ICE Emulator，简称ICD3和ICE，价格可以用昂贵来形容，所以它们极其不适合我们一般用户。但是，学习的热情岂能被这点小事难倒？买不起原装的还有第三方的嘛！笔者用过的乾龙盛公司的MPLAB ICD2（简称MCD2）和高拓公司的PICMATE 2004就很不错，它们分别对应PIC原厂的ICD2（ICD3是ICD2的升级版本）和ICE。

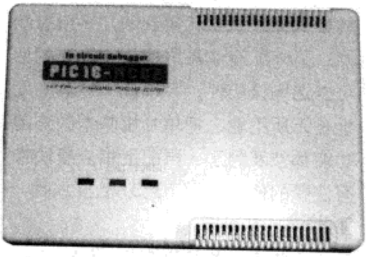


图1

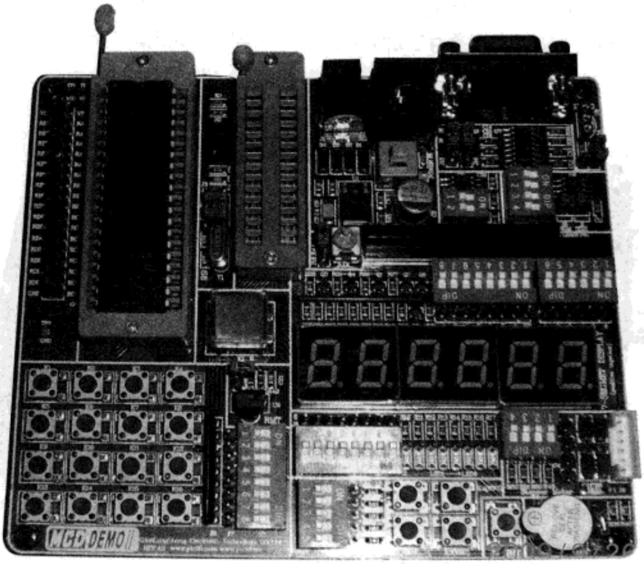


图2

乾龙盛公司的MCD2

1. 仿真器和软件

乾龙盛公司（http://www.pic16.com/）的在线仿真器MCD2完全兼容Microchip公司的在线仿真器MPLAB ICD2，支持的软件平台也是Microchip公司的集成开发环境MPLAB IDE V6.20及以上的更高版本，并兼容目前的主流操作系统。该仿真器支持绝大部分的PIC系列芯片的仿真，可以这样讲，有MCD2在手，你可以开发PIC几乎所有系列的单片机，8位的、16位的甚至是32位的！其与电脑的通信连接同时具备USB2.0高速接口与RS-232串行接口，因此更加方便笔记本和台式机用户使用。图1所示为仿真器MCD2。

2. 开发板和配套例程

该套开发板上集成了按键、扬声器、中断、串口通信、红外遥控、I/O输出、I^2C和SPI读写、DS18B20测温、步进电机、发光二极管、数码管、A/D转换等你能想到和用到的几乎所有功能，另外配有液晶屏接口，喜欢的话可以选购该配件。可以说，这套开发板是无所不能，把单片机基本的外围功能都涉及到了，再配上相应模块带有注释的例程，学习起来相当方便。图2所示为开发板。

小提示：虽然仿真器支持PIC几乎所有系列的单片机，但若要做到仿真所有芯片，须有对应该芯片的开发板与之配套使用。以上介绍的开发板虽然只支持限定的芯片，但是可以自己制作一个需要仿真的芯片板，连接到该开发板上，即借用该板的所有外围功能，从而做到仿真所有芯片。

3. 购买和客户支持

该套开发工具可以和北京航空航天大学出版社出版的《PIC单片机实用教程-基础篇》、《PIC单片机实用教程-提高篇》或《PIC单片机易学通》等教材配套使用，并且乾龙盛公司还提供了好几本相应的纸质说明书和光盘版资料。要知道现在很多公司为了节约成本，都仅仅是光盘版的资料，看着很不方便。如果需要技术支持，可以加入相应的QQ群或者是该网站的论坛与众多网友和技术工程师讨论。由于国内很多学习PIC单片机的用户都首选该公司产品，所以不愁没有志同道合者。

该套开发工具在全国各主要城市都没有代理商，所以直接去购买很方便，不过笔者推荐网络邮购。由于该公司在淘宝网开有网店，可以通过淘宝网直接购买，洽谈方式既可以通过网站主页上的 QQ 客服，也可以是淘宝旺旺。一套M07B 开发工具包括 MCD2 仿真器和 MCD-DEMO2 教学实验板以及相应配套资料，售价为 900 元。我们可以要求对方赠送配套用书或者是一些小的外围器件，具体能赠多少，就看您的砍价能力了！

高拓公司的PICMATE 2004

1. 仿真器和软件

PICMATE 2004是高拓公司（http://www.itool.com.cn/）PICMATE系列仿真器的最新产品，是由Microchip公司授权制造的采用原厂仿真芯片开发的PIC 8位单片机仿真器，支持PIC12/16/18系列芯片仿真和WINDOWS XP/2000/98操作系统。另外还有一个PICMATE精灵版，它是PICMATE2004的简化版仿真器，支持PIC12/16系列芯片仿真。此系列仿真器使用USB 2.0接口与电脑连接。由于采用积木式结构，即由主机+仿真模板I+仿真模板II构成，所以更换仿真模板就可仿真不同系列的单片机。比如你现在的模板是可以仿真PIC16F73，如果想仿真PIC16F877，则需要更换相应模板，价格很贵，换个模板甚至都可以买个乾龙盛公司的MCD2了。但是该仿真器有它独特的优势，具体细节不在本文中详述，可参见第10期杂志中的文章《单片机开发工具大探秘》。图3所示为仿真器PICMATE 2004。

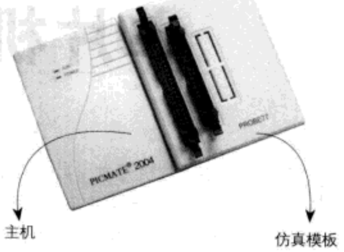


图3

使用的软件平台也是Microchip公司的集成开发环境MPLAB IDE，需要注意的是要另外安装Picmate2004 plugin插件，才可以使用该仿真器在MPLAB IDE 中调试程序。

小提示：若要调试PIC单片机的C语言程序，则需下载专门的C语言编译器，然后挂接到MPLAB IDE中，使用最普遍的是PICC编译器。

2. 开发板和配套例程

TPDEM1是针对PIC的8位单片机开发板，该板可配合高拓公司的PRO-ICD2使用，也可配合PICMATE 2004和PICMATE精灵版使用。在该公司网站

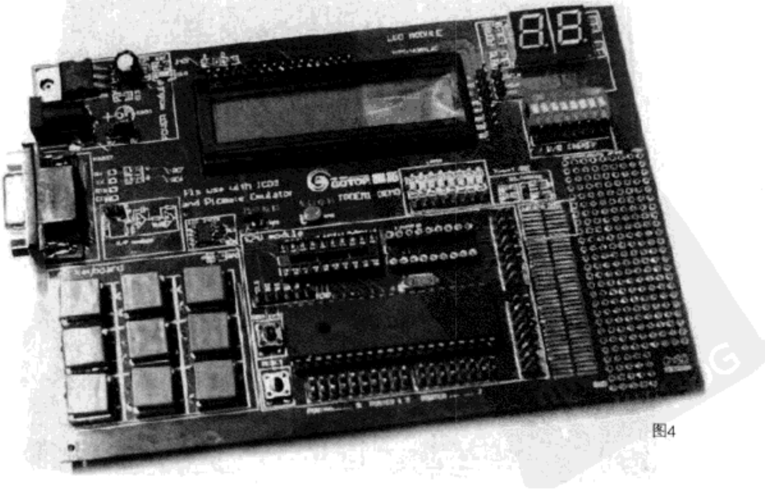


图4

温度采集也无线（软件篇）

◎陈庚

上一期给各位DIY爱好者介绍了无线采集系统的硬件电路和注意事项，本文将接着介绍其软件的实现方法，同时本文将给出一个基于VB6.0的计算机端上位机程序，用于和主控板通信，实现数据的显示。

整个系统是以红外收发程序为基础来实现的，这就意味着数据的红外调制是实现温度数据无线传输的关键。关于怎样用软件实现数据的红外调制，本刊今年第3期《用虚拟示波器调试红外收发电路》一文已有介绍，大家可参考其中的说明，相信大家在理解其原理的基础上再回过头来看本文，就应该对调制方法有所了解，这里就不再重复介绍了。图1为VB端程序运行介面。图2是其中一个温度采集板和主控板通信交换数据时的照片，从照片可看出当前温度为29℃，地址代码是0BH。假如情况允许且有必要的话，你可以多做几个温度采集板，当它们依次和主控板交换数据时其上的发光二极管不停地闪烁，场面可谓非常壮观。本文只对单片机端程序作出讲解，VB只提供源代码和一个编译好了的可执行程序

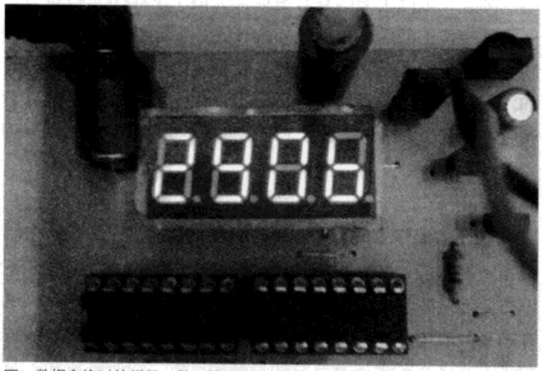


图2 数据交换时的样子，数码管左边为温度值，右边为地址码

（可到《无线电》杂志网站上下载），有对VB程序感兴趣的读者可参考相关书籍。对VB1端程序只提点注意事项，假如你要修改它最好不要缩短地址码发送时间间隔，不然会使发光管工作时间过长，缩短使用寿命。

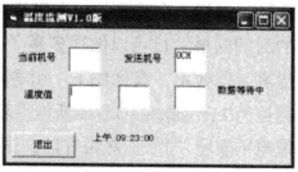


图1 VB6.0程序运行介面

软件分为三大部分，除了已提到的VB程序外，一个是温度采集板的程序，另一个是主控板的程序，都采用标准的8051汇编语言编写而成。要实现数据的无线双向传输，就要有一套通信协议。已知的能用单片机模拟实现的红外遥控协议理论上都可用于本系统，但为了使系统运行时不干扰家电或别的红外收发系统，同时不让别的遥控器干扰本系统，最好是自己定制一套行之有效的协议。大家都知道家电遥控器发出的红外数据串，至少包括引导码、地址码和数据码这三项，家电遥控系统为了做到可靠运行还要加入数据反码，以提高抗干扰能力。大家从上一篇介绍硬件的文章中可看到温度采集板和主控板中要实现的功能相对较多，有数码管显示、外中断红外解码等，定时器中断用于红外编码发射以及温度采集子程序，如果增大红外数据串的数据量势必会耗用较多的单片机机时，进而影响其他子程序的运行，降低单片机工作效率，增大程序难度，甚至给程序排错带来不必要的负担。基于这些原因，温度采集板发给主控板的红外数据串就只包括引导码、地址码和数据码，实际数据量只有两个字节，每个温度采集板的程序除了地址码设置不同外其余地方完全相同，而主控板发给温度采集板的红外数据甚至只包含一个字节的地址码。

上提供有丰富的汇编，PICC/PICC18的DEMO程序下载，随机配送的光盘中也有例程。

该板的主要功能模块包括：RS232通信接口、2X16字符型LCD液晶显示器、2位74HC595串并转换驱动的LED数码管、I^2C存储芯片24C01、用RA0即可实现9键输入的AD键盘、8位LED发光二极管、8位拨码开关、利用热敏电阻和光敏电阻构成的温度和光强检测电路、INT中断触发电路等。功能虽不及乾龙盛公司产品丰富，但也足够使用。如图4所示为开发板。

3. 购买和客户支持

高拓公司提供了在线技术支持，由于该产品的主要用户是商用开发或者大专院校，所以推荐去代理商处购买，日后更换仿真器模块也较为方便。

小提示：如果是个人用户，推荐购买乾龙盛公司的MCD2；如果是商用开发等，可以考虑高拓公司的PICMATE 2004。前者既可仿真也可编程，后者只可以仿真，并且价格相对较贵。

通信协议

以上简单分析了本系统的通信协议，下面将具体介绍通信协议的实现方法。一般家电遥控系统每个数据位所占时间都是毫秒级的，其引导码所占时间更是达到几个甚至十几个毫秒，这样一个完整的数据串所占时间约60~70ms，这么长的时间内单片机可以做很多事了，因而对其进行大幅压缩以提高工作效率，具体如下：引导码2ms脉冲+2ms低电平，数据位为0.5ms脉冲+0.5ms低电平表示“0”，0.5ms脉冲+1ms低电平表示“1”，高位在前。这样即便两个字节的数据位全为1，即两个0FFH，那整个红外数据串所占时间便为28ms，可见脉冲时间已大幅减小。如果情况允许，还可进一步压缩。温度采集板发给主控板的数据中，地址码在前，数据码在后。另外提一点，每个温度采集板和主控板都有发射和接收部分，同一个电路板上的发光二极管在工作时必须停止红外接收解码，否则自己发出的数据又会被自己接收到，导致错误发生，这也决定了本系统的工作方式为半双工方式。

有了以上所说的编码方式，就可以着手进行具体的数据调制，当然调制方法仍然可参考《用虚拟示波器调试红外收发电路》一文所作的介绍。同样地，关于怎样解码红外信号，已有很多文章介绍过，关键就是如何正确区分“0”和“1”编码中的低电平时间，读者对这一点多下功夫相信都能很好掌握。相关细节就留给读者自己思考，给大家一点发挥的空间。若能深刻理解，你就基本上可以对通信协议进行任意的修改，做到个性化设置。

工作过程

介绍完通信协议后，下面说说一个完整的数据收发工作过程。首先说明一下温度采集板有3个，每个的地址代码分别是0AH、0BH、0CH，因而VB程序将3个地址代码每隔一段时间通过串口发给主控板，每次发一个，主控板将此地址代码经红外调制发射出去。3个温度采集板接收到此地址代码后，与本机代码作比较，若相同则发射本机地址代码和当前所测量到的温度数据给主控板，主控板再将这两个字节的数据发给VB端程序。这样不停循环，将三个地址代码全发送给温度采集板。温度采集板中的数码管显示器左边两位用来显示当前温度值，右边显示本机地址代码，见图2。

其他程序

以上主要讲了系统功能实现的关键部分，即编码的调制和解调，整个程序中特别是温度采集板程序中还包括数码管显示程序、DS18B20温度传感器的驱动程序。限于篇幅和我个人能力及时间，DS18B20的驱动程序没有单独编写，而是我在网上下载的一个驱动子程序，若你有更好的驱动方案可将本文提供的程序稍作修改就可马上为你所用。另外的一个子程序数码管驱动程序要稍微麻烦点，因为为了节约I/O口以便于今后功能扩展，所以数码管的驱动没有采用常用的扫描显示，而是用了一片8位的串行转并行芯片CD4094和一片达林顿驱动集成电路ULN2003。这样做当然会增加硬件成本，但我当初除了考虑节约端口，还有一个原因是为单片机初学者考虑，你可以想想，一块小小的温度采集板可以学到红外编码和解码的知识，可以学到怎样使用温度传感器，还能学到怎样将串行数据转换为并行数据用于显示。在单片机初学者看来，它就不能只是一块温度采集板，还是一块不折不扣的学习板，在上面你能学到好几种程序。

如何调试和排错

每个板子的输入和输出端均有发光二极管相连，因而硬件上就是很好的排错助手，以此可知道程序是否在向外发射红外数据或是接收到了数据。而对于红外波形的正确与否，则只能依靠示波器的帮助了。如何使用示波器调试电路，《无线电》杂志已有很多文章介绍过，大家可回过头去看看别的类似文章。调试和排错可以说几乎集中在红外时序上，而其他的子程序可以说是单片机爱好者在做程序试验时常编写的部分，因而主要问题就是如何让每个子程序和别的子程序正确接口的问题，也就是如何传递数据和参数，若出现问题你可以单独运行这个子程序，验证通过再将其他程序一一加入，每增加一个模块就验证一下，化整为零，即能锁定错误所在，我个人认为这是最笨但最有效的方法。

应用

东西做出来后就有个应用的问题，我们拿它来干什么？或者它能做些什么？我们知道，在日常生产和生活中有许多地方要涉及对温度的测量和控制，比如堆放粮食的仓库，储存药品的库房。这些地方对温度要求都很严格，若将本系统用于上述场合可实现温度自动测量和采集，同时若再加入湿度传感器和相应驱动控制程序则能进行温湿度同时监控。另外一个应用就是监控商场和宾馆的环境温度，这类场所现在一般都安装的是中央空调，若对本系统进行升级改造，完全可以做到使冷气系统随环境温度而改变其输出温度，这样做最大的好处就是省电，当下能源紧张，省电的方式和方法也很多，本文所提的方法也可为大家作参考，但这要对系统软硬件作较大修改，但基本思路是不变的，只是将功能变得更为强大。当然红外收发的致命弱点就是距离短、方向性强，但本文所介绍的温度收发系统成本相当低廉，在对性能要求不是很高的地方完全有用武之地。

◎董庆源

编者按：本文介绍了作者参考电路实物，制作出功能类似电路的过程，虽然这只是单片机电路在高频脉冲电源中的普通应用，但难能可贵的是他没有死板地依葫芦画瓢，而是在继承中进行了创新，如传统的去按键抖动延时程序不能照抄照搬，显示电路的连接无须局限于传统顺序连接方式……他的成功经验对于广大电子爱好者和工程技术人员实现从电路制作到电路创作的转变有很好的启发作用，值得大家借鉴。

照猫画虎

——记一次难忘的开发经历

笔者从事电子和单片机实践教学数年，之前从未做过工程应用设备开发，有多方面原因，归根结底是畏难情绪作怪，现在想来好像工程开发并不像我自己想象的那么繁琐深奥。这一次学校放暑假前，适逢同学找上门，要求帮忙看能否参考他们公司采购的国外脉冲电源板，制作出价格合理（国外进口板价格奇高），可供他们正常使用的电火花线切割机脉冲电源。开始心里没底，但看看板上实在没有太多的元件，电路也不是太复杂，就抱着试试看的心态对其进行了初步分析，发现板上的元件和集成芯片都很常见，这让我坚定了开发的信心。参照我以往的实习板开发经验，我将整个过程分成四个步骤，逐步有序进行，最终完成了所要求的开发任务。做好的实物见图1～图3。现将整个过程描述如下，希望对从事相关工作的朋友能提供些许帮助。

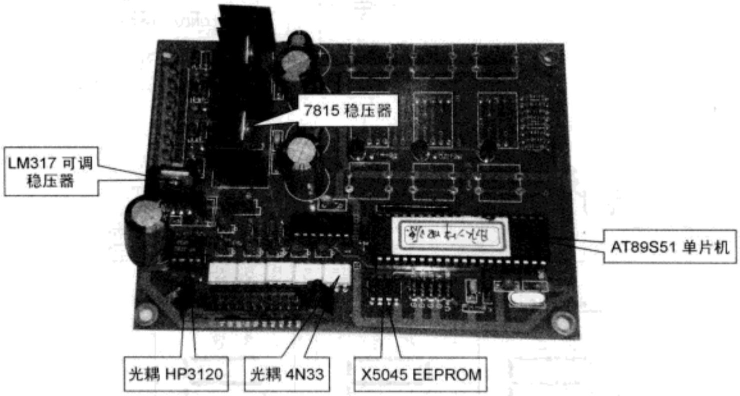


图1 脉冲控制板正面

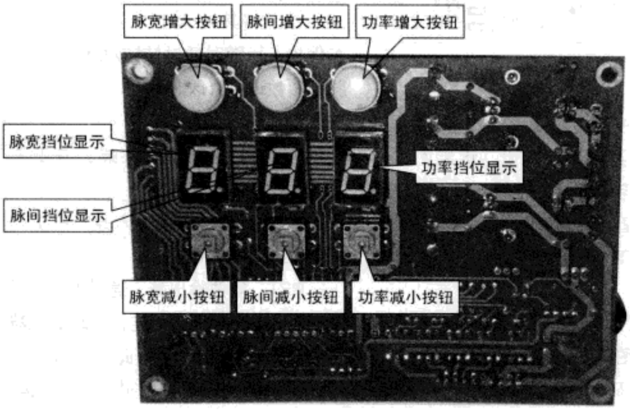


图2 脉冲控制板反面

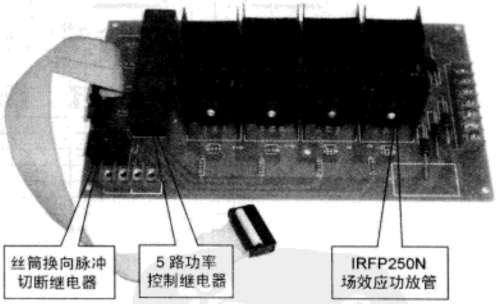


图3 功率放大板

参照原板绘制出电路原理图

这一步主要是对电路硬件加以全面认识，为后面的编程做好准备。在这个环节上

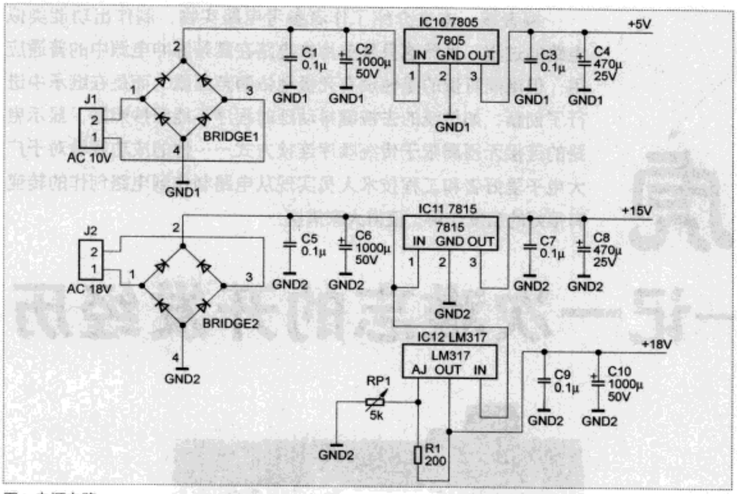


图4 电源电路

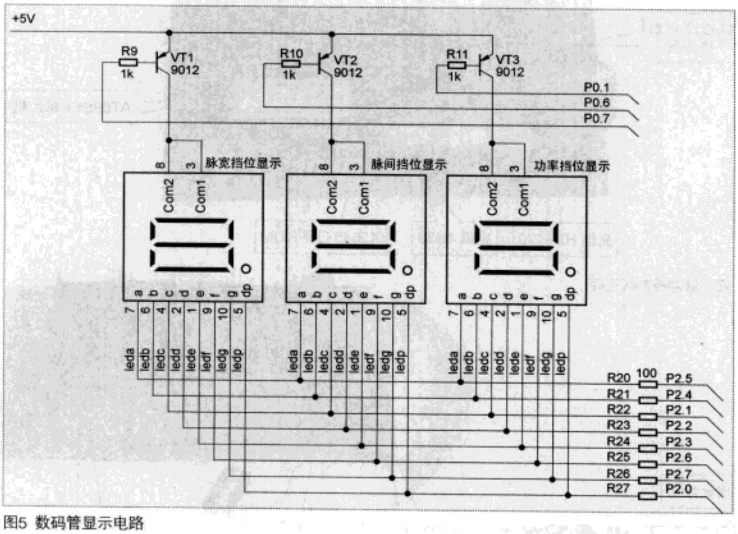


图5 数码管显示电路

感觉一些基础的电子安装和维修很有必要，模电和数电的相关基础知识也要具备，当然单片机知识也要扎实。

电源部分电路原理如图4所示。由图可见，该部分电路元件包括：整流二极管、滤波电容、7805、7815、LM317等。电路左侧两路交流低电压AC10V、AC18V经连接插座输入两个桥式整流电路，再经过滤波、稳压（7805和7815）、调压（LM317）后分别输出+5V、+15V、+18V三路直流电压给板上其他部分供电。这里尤其要注意+5V电源部分的地线（GND1）与另外两组直流电源的地线（GND2）是分开的。RP1用于调整LM317的输出电压。

数码管显示部分电路原理如图5所示。由图可见该部分电路元件包括：共阳数码管3只、9012三极管3只、限流电阻等。PNP型三极管9012受AT89S51单片机的P0.1、P0.6、P0.7引脚控制，低电平有效接通共阳极数码管公共端电源，分时接通三只数码管可实现动态扫描显示。R9、R10、R11是基极控制电阻，R20~R27是各段限流电阻。由图我们还可以发现数码管的各段不是有顺序地接到P2口的各引脚，但这并不影响其显示，只要根据实际的接法正确计算出各个显示码，并将其按0~9的顺序定义到单片机ROM区中，即可进行查表显示所需要的数字。

· 单片机最小系统及按钮、数据存储部分电路原理如图6所示。该部分电路元件包括：AT89S51单片机、脉冲参数调整按钮、X5045EEPROM芯片等。由图可见接到P0口的5只按钮需要进行上拉，接到P3.7的一只按钮没接上拉电阻，因为P0口内部没有上拉电阻，而P3口内部有上拉电阻。X5045是一种集看门狗、电压监控和串行EEPROM三种功能于一身的可编程芯片，共有8个引脚，各引脚的功能及连接描述如下：

CS：芯片选择端，低电平有效。在规定的看门狗定时时间内给CS端一个上升沿，即可复位看门狗定时器，本电路将其与AT89S51的P1.4相连。

SO：串行数据输出端，在此与AT89S51的P1.6相连。

WP：写保护输入端，低电平有效，在此将其与5V电源正极相连，不加保护，可随时通过按钮对X5045中的脉冲参数进行修改。

GND：接地端。

SI：串行数据输入端，在此与AT89S51的P1.5相连。

SCK：串行时钟输入端，在此与AT89S51的P1.7相连。

RST：复位输出端，通过上拉电阻R8与AT89S51的RST相连，实现看门狗复位，即在规定时间（此电路设定为1.4s）内单片机没有喂狗操作，X5045将给单片机一个高电平复位信号，使

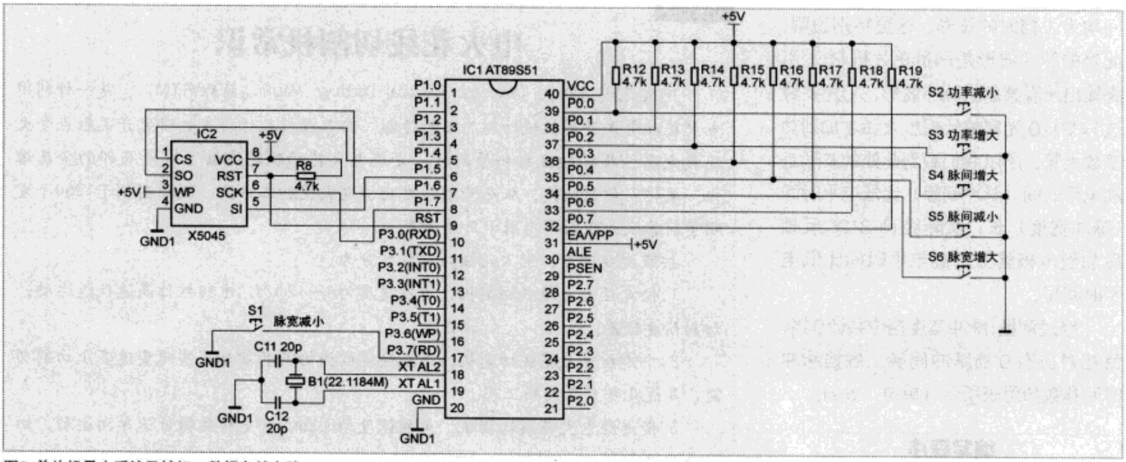


图6 单片机最小系统及按钮、数据存储电路

其从头开始执行程序。

VCC：电源正端，接+5V。

高频信号放大及光耦输出部分电路如图7所示。74LS07有6路同相数据缓冲通道，其中的5路用于驱动5只4N33光耦，再去驱动功率放大板上的5只继电器，实现功率控制。74LS07的第4路缓冲通道用于驱动光耦HP3120，放大高频脉冲信号，同时对脉冲信号进行反相处理。为了能准确观察到每只光耦的工作状态，在此将一只发光二极管与光耦内部的发光二极管串联，这样当光耦内部二极管导通时，外部的发光二极管也导通发光，给出工作指示。

查找相关元件资料及驱动程序

在这个电路中主要是查找X5045芯片资料及驱动程序，回想查找过程，上网是必不可少的，但网上的驱动程序通常要加以改动才能适用于自己的电路，还有些网站的程序是有错误的，这点在查找其他资料时也要注意加以辨识。

原有程序状态分析

进行这一步之前，我查阅了电火花线切割机的相关资料，由于网上系统介绍线切割机知识的网站很少，为此专门购买了一本关于线切割机的教材。看了几天大致了解了线切割机的加工原理，加工工艺对脉冲电源的要求。重点是知道了脉冲宽度与脉冲间隙之间的关系要求，二者均要可调，但脉冲间隙挡位所对应的时间与脉冲宽度挡位有关。简单地说，脉冲宽度挡位调定后，调整脉冲间隙挡位时，脉宽挡位及其所对应的时间均保持不变。但脉冲间隙挡位调定后，调整脉宽挡位时，脉冲间隙挡位不变，但该挡位对应的时间会随着脉宽挡位的调整而相应变化。两个参数示意如图8所示，此波形是脉宽和脉

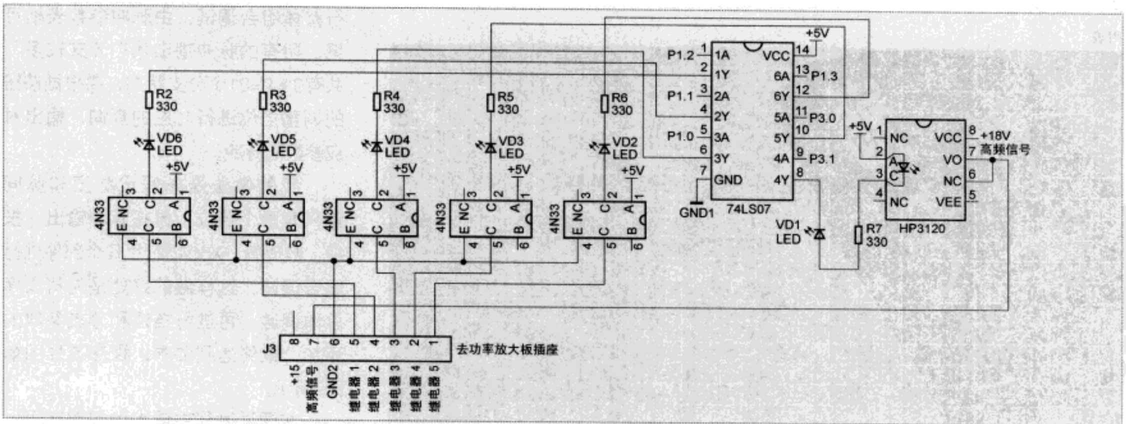


图7 高频信号放大及光耦输出

间均为 1 挡时的波形。这里特别说明，此处的脉冲波形是测量单片机 P3.1 引脚输出所观察到的脉冲波形，它还要经过 HP3120 光耦的反相放大后才加到功率放大管。所以我们看到此处的波形是高电平时间（脉冲间隙）比低电平时间（脉冲宽度）长，实际经 HP3120 反相后加到电极丝上的高电平时间比低电平时间短。

经过测量，脉冲宽度挡位共计 9 挡，每挡对应有 9 挡脉冲间隙，各挡脉冲时间参数如附表所示（单位：μs）。

编写程序

经过前面三个步骤，到这里就可以着手进行程序编写了，程序需不断修改、调整与原有程序状态比对，直至达到要求。

我的做法是先局部再整体，即先编写各个局部的驱动程序，再将它们进行组合调试。第一个写的是数码管显示程序，使之能实现正常的查表显示。第二个写的是按钮检测程序，用数码管显示出各个按钮的调整状态。第三个写的是脉冲输出程序，用两个定时器轮流工作实现不同的脉宽和脉间维持时间。第四个写的是X5045的读取程序，能够用单片机对它的指定单元进行数据读取和写入。第五个是进行整体组合调试，由脉冲参数表格可见，所有的脉冲输出状态分支较多，共有9×9=81个分支状态，要根据按钮的调整挡位进行对应的查询，输出对应参数的脉冲。

我的做法是先假定脉宽和脉间都只有两个挡位，再将脉冲输出、按钮、数码管、X5045芯片几个部件进行联合调试，这样做的好处是先将程序总体调通，再进行挡位和分支参数的添加，最终达到要求。程序流程图如图9所示。

在调试过程中最大的问题在于，

背景知识

电火花线切割机常识

电火花线切割机（Wire cut Electrical Discharge Machining简称WEDM），是一种利用电火花放电来进行机械切割加工的设备。前苏联拉扎林科夫妇研究开关触点受火花放电腐蚀损坏的现象和原因时，发现电火花的瞬时高温可以使局部的金属熔化、氧化而被腐蚀掉，从而开创和发明了电火花加工方法。线切割机于1960年发明于前苏联，我国率先用于工业生产。

按照走丝速度，电火花线切割机可分为：

1.快走丝电火花线切割机，走丝速度为6～12m/s，电极丝作高速往返运动，切割精度较差。

2.中走丝电火花线切割机，是在快走丝线切割的基础上实现变速多次切割功能，是近几年发展的新工艺。

3.慢走丝电火花线切割机，走丝速度为0.2m/s，电极丝做低速单向运动，切割精度很高。

电火花线切割脉冲电源是数控电火花线切割机床的重要组成部分，本文所写脉冲电源主要应用于快走丝电火花线切割机。

为了满足电火花线切割加工条件和工艺指标的需要，对脉冲电源要求如下：

1.脉冲峰值电流要适当并便于调整；

2.脉冲宽度要能在一定范围内分挡调宽或调窄；

3.脉冲间隙在脉冲宽度确定后，一定范围内可分挡调节；

4.只能输出单向脉冲；

5.功放管输出的脉冲波形前沿和后沿以陡些为好；

6.使用稳定可靠，易于制造和便于维修。

图8 脉冲参数示意图

附表

脉宽	10								
脉间	180	200	210	220	230	260	300	330	380
脉宽	20								
脉间	250	270	300	320	340	400	480	530	660
脉宽	40								
脉间	360	410	450	500	540	680	840	920	1200
脉宽	60								
脉间	500	580	640	720	760	960	1200	1350	1750
脉宽	100								
脉间	720	800	900	1000	1100	1400	1800	2000	2550
脉宽	120								
脉间	920	1040	1200	1300	1450	1800	2350	2600	3400
脉宽	160								
脉间	1200	1300	1500	1650	1800	2300	3000	3300	4200
脉宽	200								
脉间	1400	1600	1800	2000	2200	2750	3600	4000	5000
脉宽	240								
脉间	1700	1900	2200	2400	2600	3400	4300	4800	6200

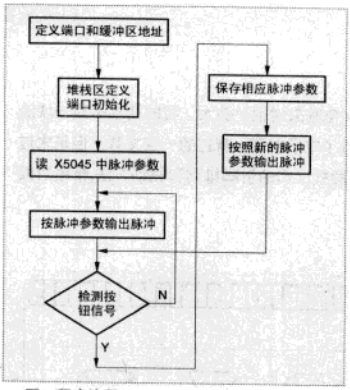


图9 程序流程

用延时程序进行按钮去抖动时，脉冲会消失，数码管也会失去显示，这在实际当中是不允许的，脉冲的瞬时有无会给电极丝很大的冲击，严重时会烧断电极丝，可见一般的延时程序是不可取的。经过尝试，我将脉冲输出、数码管显示部分进行子程序包装，利用若干次调用这个子程序实现一定时间的延时，较好地解决了按钮延时去抖动的问题。由此可见教学编程与工程应用编程还是有区别的。

心得体会

总结整个开发过程，感受很多。我用的是汇编语言，对于这个课题，我认为汇编是比较合适的，可以较准确地实现微秒级的定时控制。电路方面我感受到工程应用的电路与实验实习板上的电路是不一样的，这里的所有输出都有光耦进行隔离，接地也是分开的，这样可以有效地抑制外部干扰。当然看门狗也是必不可少的，因为总有些难以预料的原因会导致单片机死机。程序方面我根据一些资料的介绍，在各处添加了NOP空指令陷井，效果如何要等到一定时间的试机后才能知道。希望以此为开端，能够做更多的工程应用开发，让自己的知识上台阶，也能够带领更多的学生从事工程应用级别的学习、开发，壮大学院实力，为社会多培养技术蓝领。

作者自介

我对电的好奇源于儿时生活中电的缺乏，从制作第一个干电池照明灯，到装响第一台收音机，再到完成第一块开发板，在好奇心的驱使下，我一次次感受着电子制作带给我的快乐。现在我想在娱乐的同时，从业余向专业挺进，所以有了本文的第一次开发，粗陋之作，望不吝指正，联系QQ：737069091。

书讯

定价：38元　　邮购价：44元

◆全国各大书店及网上书店有售
◆读者也可汇款至《无线电》编辑部邮购
◇汇款地址：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》编辑部　　邮编：100061
◇邮购电话：010-67134361

高保真音响丛书
《电子管声频放大器实用手册》出版

电子管发明迄今已逾百年，这个古老的器件虽已从电子技术主舞台淡出，但在音响领域却仍保有重要位置而且长盛不衰。声频放大器有其特有的电路技术，而且音响技术属于实验科学范畴，在设计时需要经验的融入。此外，在设计声频电路时，还有必要把听觉因素考虑进去，并设法使它不受信号源和负载的影响。

本书由电子管原理、结构、特性谈起，内容包括电子管的正确使用，电子管在声频放大中的各种应用，电子管的替换，以及装配、调试、检修和有关计算。内容深入浅出，切合实用，凡于实用上所必须了解的知识以及易被忽略的问题，都有较详细的叙述，并列出大量适于应用的数据，有很高的参考价值，适合电子管音响爱好者及相关专业人士阅读参考。

作者唐道济先生是国内资深的电声专家，中国声学学会高级会员，中国电子学会会员，现为无锡市音响技术专业委员会主任。1961年起从事电子技术教育工作，20世纪70年代起专事电声及电子产品开发工作，1995年参加国家劳动部有关专业的国家标准及规范制订，先后担任国家标准专家组的主审工作，先后出版过多本电子、电声方面的专著。

《电子管声频放大器实用手册》是唐道济老师为普及电子管应用技术而奉献给广大音响爱好者的又一佳作。该书对有关电子管放大器的理解、设计、制作问题及实用数据作了全面的充实，特别是一些易被忽视的问题都作了阐述，论述虽避免抽象的数学推导和繁琐的理论分析，但仍给予正确概念，对电子管使用中涉及的电路原理、分析、应用、调试、检测都有极高的参考价值。

小巧节能的段式LCD

◎周长锁

编者按：一位读者给编辑部来信：“我在学习单片机的过程中感觉LED数码管很费电，对于笔记本电脑来讲很是头大。我的朋友给我一块液晶显示的四位数码板，我们都认为用它可以省许多的电。然而，它的点亮方法很是奇怪，我们查看了电子书刊上有过的一些文章，但是太过简洁。想问一下贵刊可会在这方面有文章在近期出炉？”为此我们请周长锁老师为读者详细介绍段式LCD的引脚排列和驱动方法,希望对读者有帮助。

段式LCD主要用来显示数字，也可显示定制的汉字或图案。显示数字时和LED数码管差不多，由7段组成。与LED相比，LCD的主要特点是功耗极低，适合电池供电的设备使用，驱动电压一般为3V，3.3V供电的单片机引脚可以和液晶屏直接连接。段式LCD还有一个特点是要求交流电压驱动，若用直流电压驱动会损坏段式液晶屏，这就决定了单片机驱动段式LCD的方法与驱动LED数码管的方法不同，动态LED数码管的连接方法是同名的段连在一起，每个数码管引出1个公共电极。而LCD数码管则是每个数码管的几个相同的段连在一起作为公共电极，单个数码管不在同一公共电极上的几个段连在一起引出。本文将介绍用单片机驱动几种典型的段式LCD的方法。

一、段式LCD常识

1. 段式LCD驱动方式按公共电极（背电极）数量可分为静态驱动和动态驱动2种方式。只有1个公共电极的就是静态驱动，动态驱动一般有2～4个公共电极。3位半数字万用表的液晶屏就属于静态驱动，示意图见图1，真值表见表1。

4位半数字万用表的液晶屏就属于动态驱动，示意图见图2，真值表见表2。两个真值表中“F1”、“1F”代表的意义都是第1个数码的F段，还有数码管排序是从左到右还是从右到左，不同厂家表述方法可能不尽相同，只要把示意图和真值表对应上就行。

2. 动态驱动中将所有公共电极扫描一遍的时间叫一帧，单位时间内扫描帧的次数叫帧频，一般帧频设为40～60Hz左右较为合适，频率高功耗将变高，频率低会出现闪烁。扫描单一公共电极（COM）选通的时间与帧周期之比叫占空比$Duty=1/n$，式中n为公共电极数量。动态驱动时不仅选通段上

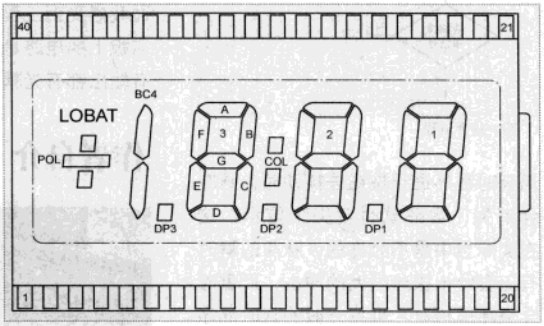


图1 3位半数字万用表液晶屏示意图

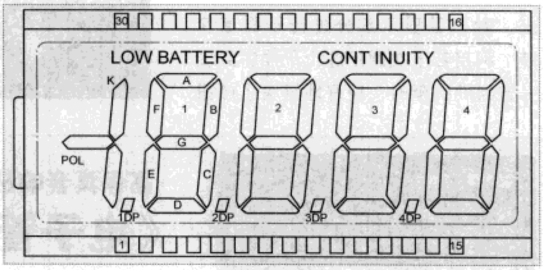


图2 4位半数字万用表液晶屏示意图

施加有电压，非选通段上也施加了电压。非选通时波形电压与选通时波形电压之比为偏压比$Bias=1/a$，式中取$a=\sqrt{n}+1$时显示分辨率和对比度比较好。

3. 一般购买的液晶屏都有相关资料，如引脚的排列图和真值表等。有时也会遇到没有资料的情况，这时就要自己来判断引脚。较常用的方法是在变压器的次级引出一根线（次级电压不限，只是利用感应电），用线头金属部分依次碰触液晶屏的引脚，触碰到引脚对应段会显示。需要注意的是，这

表1 3位半数字万用表液晶屏真值表

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
COM	POL	AB4				DP3		E3	D3	C3	DP2	E2	D2	C2	DP1	E1	D1	C1	B1
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A1	F1	G1	B2	A2	F2	G2	COL	B3	A3	F3	G3						LOBAT	+	COM

表2 4位半数字万用表液晶屏真值表

PIN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16~30
COM1	1F	1A	1B	2F	2A	2B	3F	3A	3B	4F	4A	4B	COM1	-	-	-
COM2	1E	1G	1C	2E	2G	2C	3E	3G	3C	4E	4G	4C	-	COM2	-	-
COM3	1DP	1D	K	2DP	2D	POL	3DP	3D	LOBAT	4DP	4D	CONT	-	-	COM3	-

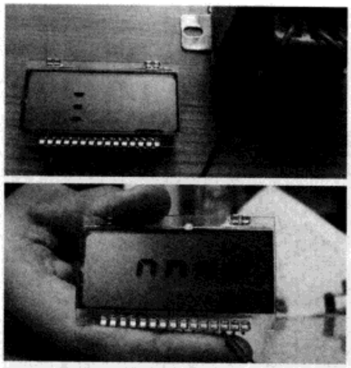


图3 段式LCD引脚测试示意图

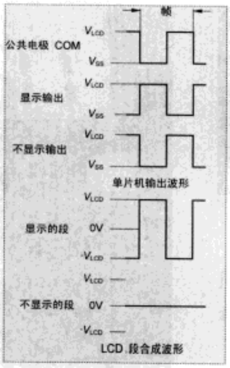


图4 静态驱动方式波形图

种方法对应公共电极则无反应，此时用手尽量接触所有引脚，再用线碰触公共电极，则会显示公共电极对应的段。测试方法示意图见图 3，接 2 脚显示的段有 1A、1G、1D，接 13 脚 COM1 端显示 4 个数码管的 A、B、F 段，和真值表是对应的。

4. 段式LCD与电路板的连接方式主要有固定引脚、导电橡胶条和热压导电斑马纸等几种。其中固定引脚的液晶屏出厂时像集成电路一样，在玻璃屏上直接引出金属引脚并用胶固定，使用时直接焊在电路板上或是插在电路板的插座上，这种连接方式最可靠、最方便。只露出ITO透明导电膜引脚的液晶屏只能用热压导电斑马纸或导电橡胶条连接了，用导电橡胶条连接时需要有个框架把液晶屏固定并压紧在电路板上，这种连接方式也比较可靠。用斑马纸连接的液晶屏也需要固定，时间长了易出现接触不良的现象，造成液晶屏缺笔画，这时可用热风枪加热连接处的斑马纸再压紧就好了，温度以不烤坏斑马纸为宜。

二、单片机直接驱动段式液晶屏

1. 静态驱动方式下，公共电极（COM）输出方波，要显示的段（SEG）输出相位相反的方波，不显示的段则输出同相的方波，不使用的段则和公共电极连在一起。静态驱动方式波形图见图4。

以单片机驱动3位半数字万用表液晶屏低2位的数码管为例，编程思路是设1个数组作为显示数码的接口，程序只要更改数组内容就可以更改显示内容，显示数码子程序由定时中断子程序来实现，在子程序中根据显示内容确定公共电极和段的输出。显示数码“21”的效果见图5。这种显示方式驱动较为简单，但是需要单片机有更多的引脚用来驱动LCD。

2. 在动态驱动方式下，依次对所有公共电极扫描，未扫描的公共电极电平为$V_{LCD}/2$，每个公共电极扫描时要显示的段与扫描方波反相，不显示的则同相。动态驱动（3个公共电极）方式波形图见图6。

从波形图中可以看出，占空比为1/3，偏压比为1/2。$V_{LCD}/2$的实现方法是用2个1MΩ电阻串联，两端分别接电源和地，中间接单片机公共电极输出就行了，这样单片机引脚可以直接输出高、低电平。当引脚设为仅为输入时，则引脚电平由电阻分压决定，变为$V_{CC}/2$。一般来说，3个或4个公共电极选偏压比为1/3时对比度效果较好，只是用单片机实现比较复杂，还是选偏压比1/2容易实现，适当降低单片机工作电压可以使对比度提高些。单片机驱动4位半数字万用表液晶屏的效果见图7，3.3V电压时分辨比较差，隐约能看到不需显示的段，2.8V电压时显示效果比较好。

三、单片机间接驱动段式LCD

单片机直接驱动段式LCD的电路虽然简单，但在段数较多时单片机的引脚就不够用了，可以外接芯片扩展端口，推荐用PCF8576（40×4位）、HT1261（32×4位）等段式LCD专用驱动电路，部分单片机把段式LCD驱动集成到内部，使用更方便。下面介绍用PCF8576CT驱动10位数码管的方法，电路原理图见图8，显示效果见图9。

1. PCF8576是一种外围器件，它可为任何静态或动态段式LCD提供驱动信号。PCF8576具有4路公共电极输出和40

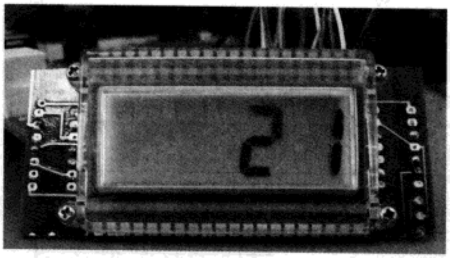


图5 静态驱动测试效果

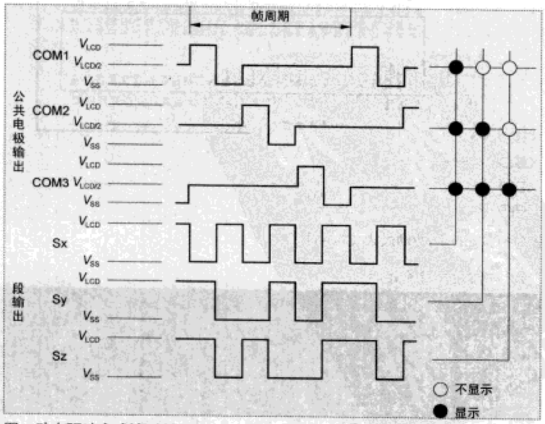
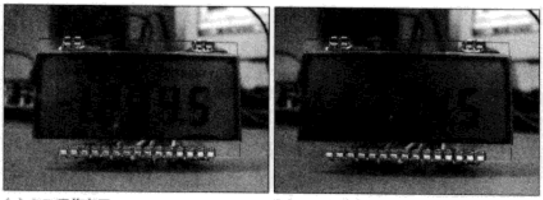


图6 动态驱动方式波形图



(a) 3.3V工作电压　　(b) 2.8V工作电压

图7 动态驱动效果对比

路段输出，通过级联可驱动大规模的LCD应用显示。单片机只需通过I²C总线与PCF8576通信，对PCF8576进行设置，修改显示存储器，PCF8576会直接驱动LCD显示存储器内容。PCF8576的引脚说明见表3。

2. PCF8576 有5个控制命令 ，可以分别对LCD的显示方式、地址指针、器件选择、显示存储器分区、闪烁方式等进行设置，如表4所示。指令的最高位C表示后续字节是指令字节还是显示数据字节，*C*=0表示本字节为最后一指令字节，后续字节为显示数据字节。显示存储器分区很少用，可不用设置。

3. PCF8576应用中的注意事项

（1）电源电压为3V左右时VLCD可直接接地，5V时可用电阻分压出2V接VLCD，低于3V时就要提供负压给VLCD了，以保证V_{DD}-V_{LCD}≥3V。

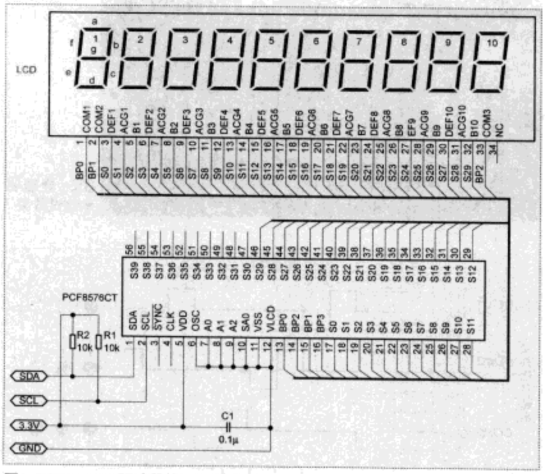


图8 PCF8576CT驱动段式LCD原理图

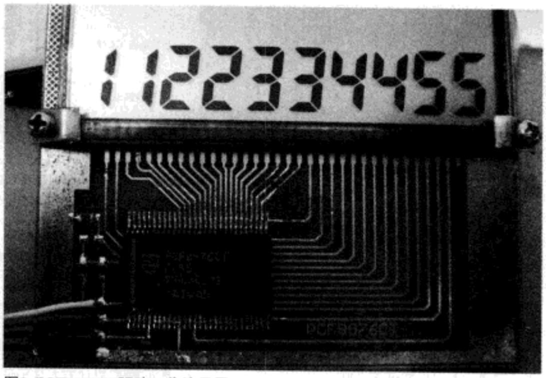


图9 PCF8576CT驱动10位液晶屏

（2）公共电极和段输出按顺序和液晶屏连接，不用的段输出可空着，这样较容易确定显示内容和显示存储器之间的关系，编写转换函数。

（3）编程时注意开机后延时1ms才可以和PCF8576通信，保证PCF8576可靠复位。

（4）开机时先对PCF8576初始化，发送方式设定和闪烁控制命令，在程序中定时或有数据改变时刷新显示存储器，方法是先发送器件选择命令，再发送存储器数据内容。

以上分别介绍了单片机直接驱动静态段式LCD、直接驱动动态段式LCD以及间接驱动段式LCD的方法。测试用单片机C51程序代码可到《无线电》网站上下载，程序中给出了具体的编程方法供参考。

表3 PCF8576引脚说明

符号	引脚		描述
	PCF8576CT	PCF8576DT	
SDA	1	44	I²C总线SDA
SCL	2	45	I²C总线SCL
CLK	4	47	外部时钟，级联用，单独使用不接线
VDD	5	48	电源电压，1.8~5.5V
SYNC	3	46	级联同步，单独使用不接线
OSC	6	49	内部振荡器使能，低电平有效
A0~A2	7~9	50~52	子地址
SA0	10	53	I²C总线从机地址
VSS	11	54	逻辑地
VLCD	12	55	LCD负极电压，加在液晶屏上的电压=VDD-VLCD
BP0，BP2，BP1，BP3	13~16	56，1，2，3	LCD公共电极输出，静态驱动时4极接在一起，2个公共电极时BP0和BP2连接一起，BP1和BP3连接一起，3个公共电极时BP1和BP3连接一起
S0~S39	17~56	4~43	LCD段输出

表4 PCF8576命令说明

命令	操作码								说明
方式设定	C	1	0	X	E	B	M1	M0	E-显示使能，0-禁止，1-允许 B-偏置电压，0-1/3，1-1/2 M1 M0-驱动方式，00-4极，01-静态，10-2极，11-3极
数据指针	C	0	P5	P4	P3	P3	P1	P0	从0~39的6位二进制数
器件选择	C	1	1	0	0	A2	A1	A0	3位二进制值，确定硬件子地址
闪烁控制	C	1	1	1	0	A	BF1	BF0	A-闪烁使能，0-正常，1-轮流闪烁 BF1 BF0-闪烁频率，00-关断，01-2Hz，10-1Hz，11-0.5Hz

PPT文档展示的好帮手——USB无线翻页器

◎刘亮

某日在淘宝网上闲逛，不经意间发现一种USB激光翻页笔(以下简称翻页笔)，引起了笔者的好奇，根据介绍，该翻页笔的特点如下：

*即插即用：无需安装其他程序即可立即使用（Plug and Play功能）。用于所有具有USB端口的电脑。

*远距离无指向性：采用低耗电无线射频方式遥控，解决了原红外线方式的指向性问题。

*射频频率：315MHz

*电源：23A 12V 碱性电池（发送器）；USB端口供电（接收器）

*遥控距离：>10m

笔者仔细分析了该翻页笔的功能后，发现它特别适用于那些在大教室使用PowerPoint（PPT）作演讲授课的老师或者介绍产品的商务人士。它只需要几个常用的按键控制，利用315MHz的无线遥控信号代替了鼠标键盘或者红外线信号，不需要频繁地用鼠标键盘进行操作，摆脱了束缚，又无红外线的定向性约束，可随心所动地进行讲解，极大地方便了使用者，不失为一种实用的创造。

根据翻页笔所描述的，笔者设计了一款类似的“翻页器”，虽然造型不如淘宝上卖的那么精美，但如果经过精心设计，也可以做得十分小巧。读者们等不及了吧？笔者现将制作经过与大家分享如下：

一、电路设计

电路图分作两部分：发射部分和接收部分，如图1、图2所示。接收模块通过一个插座与控制部分连接在一起。

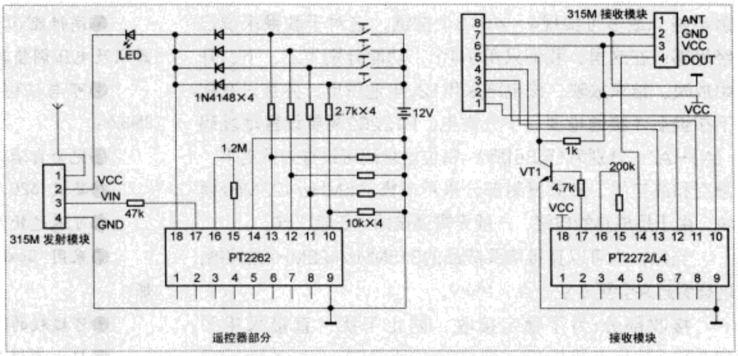


图1

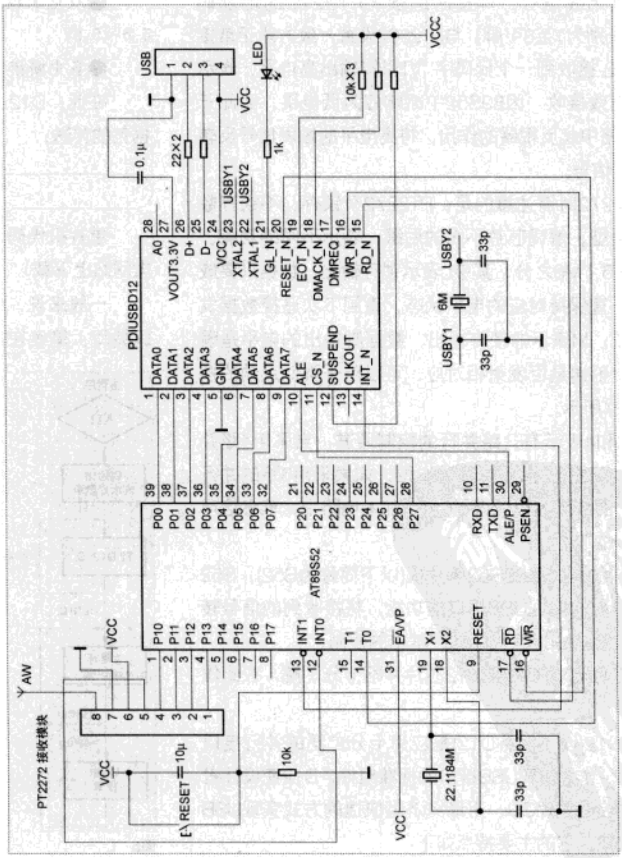


图2 接收控制部分

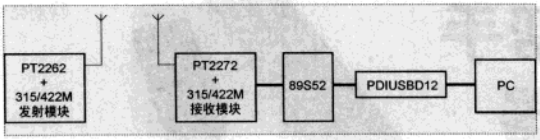


图3

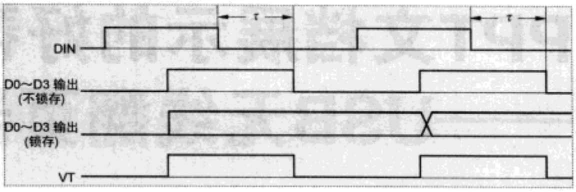


图4

发射部分:为了方便、省电，采用了专用的PT2262发射电路，最多可实现4×4=16个按键，这对于教鞭来说已经足够，在这里，我们只用了4个，功能分别为上、下、开始放映、结束放映。该电路采用12V电池供电，并且只在按下按键后才接通电源，十分省电。PT2262需要设置地址码（A0~A7：分别为1至8引脚）,每位地址码可设置为低电平、悬空和高电平。高频发射部分采用市售315MHz/422MHz模块，由于是成熟的电路，一般无需调试即可正常工作。

当然，也可以直接购买成品的315MHz/422MHz遥控器，这样看起来会更专业一点，*^v^*。

接收部分:为了稳定接收，防止干扰，直接采用了PT2272接收无线信号。焊接时必须将PT2272的地址码（A0~A7：分别为1至8引脚）与PT2262设置一致方能正常接收。当PT2272 接收到一个代码字 ,VT引脚输出高电平，表示进行了一次有效接收。因89S52中断响应为低电平，因此三极管VT1在电路中起反相器的作用，将高电平的触发信号反转为低电平触发信号。

选择PT2272时需注意的是：PT2272有锁存、不锁存数据输出两种类型。解码芯片不同的后缀，表示不同的功能，有L4／M4／L6／M6之分，其中L表示锁存输出，数据只要成功接收就能一直保持对应的电平状态，直到下次遥控数据发生变化时改变。M表示非锁存输出，数据脚输出的电平是瞬时的而且和发射端是否发射相对应，可以用于类似点动的控制。波形如图4所示。

后缀的6和4表示有几路并行的控制通道，当采用4路并行数据时，对应的地址编码应该是8位，如果采用6路的并行数据时，对应的地址编码应该是6位。在本电路中，笔者选用的是后缀为L4的芯片。

接收到的信号送至89S52单片机(以下简称为S52)，S52与PDIUSBD12配合实现USB接口的功能，将接收到的信号转换后传送至PC端，由此实现了各种基本的控制。

有些读者可能对PDIUSBD12芯片并不十分了解，在此作简要的介绍。

PDIUSBD12(以下简称D12)是应用十分广泛的并行接口USB控制芯片，作为实现USB接口的标准组件，D12使设计者能够灵活选择合适的MCU，用最经济最快捷的方式实现USB外设的解决方案。它的主要特点如下：

- ●完全符合 USB1.1版的规范；
- ●高性能 USB 接口器件 集成了 SIE FIFO 存储器、收发器以及电压调整器；
- ●可与任何外部微控制器／微处理实现高速并行接口2MB/s；
- ●完全自治的直接内存存取 DMA 操作；
- ●集成 320 字节多结构 FIFO 存储器；
- ●可通过软件控制与 USB 的连接；
- ●采用 GoodLink 技术的连接指示器,在通信时使 LED 闪烁；
- ●可编程的时钟频率输出；
- ●双电源操作 3.3±0.3V 或扩展的 5V 电源,范围为3.6~5.5V ；
- ●多中断模式实现批量和同步传输。

在此，D12主要作为S52与PC的一个桥梁，完成USB数据包的传送。

二、软件设计

单片机代码使用Keil软件C语言编写（可到《无线电》杂志网站上下载），具有良好的可移植性。

一般来说，USB设备是需要驱动的。为了避免繁琐的代码编写，笔者在此偷了个“懒”：对PPT进行操作时，可以

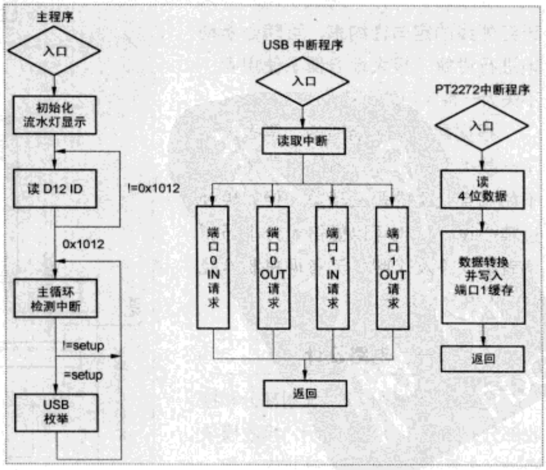


图5

图6 电脑识别后的设备

用键盘进行操作，例如：可用上下键实现PPT的前一动作与后一动作的显示。因此，将该USB设备描述成一个USB键盘即可达到预期的效果。唯一有区别的是，该键盘是为PPT量身定制的，只有4个最基本的按键。单片机代码流程图见图5，为了方便读者理解，笔者在此作简要解释。

单片机代码分主循环、PT2272中断处理和USB中断处理三大部分：

1.USB主循环对反复查询中断，并通过setup标志位确定是否需要对PC的枚举请求进行回复。

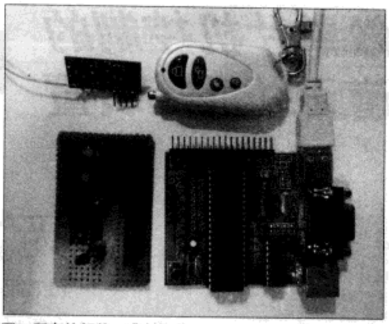


图7 所有的部件，准备组装

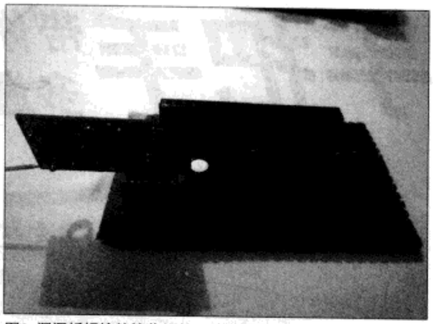


图9 洞洞板焊接的接收组件，简单明了

图8 我的“四键”翻页器

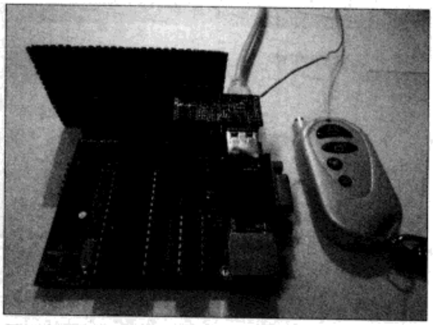


图10 组装完成，像一台小电脑，有点庞大，但功能实现正常

2.USB中断处理主要通过对中断控制字的判读确定中断源，并进行相应的处理，根据PC发起的中断源，传送至PC进行相应的处理。

3.PT2272中断处理主要是将PT2272接收到的按键信息进行转换，转换成USB键盘的标准键码（如：开始放映为Shift+F5等；结束放映为ESC），并写入D12端口1的缓存，等待PC发送端口1IN的命令后，由D12将数据送给PC，完成键盘按键的模拟。

对于PC而言，根据接收到的键码进行相应的操作，就能像普通键盘那样控制PPT的放映。识别后的USB翻页器如图6所示。

不折不扣的USB键盘，嘿嘿，其实想法也很简单吧？

图7～图9为笔者用到的材料，小巧的4键遥控器、请工厂加工的PCB电路板、带PT2272的315MHz解码模块等。做好以后如图10所示，看起来体积有点大，但是用起来效果不错。

总的来说，这个无线翻页器教鞭可以看作是一个小巧的无线键盘，翻页器上的功能按键均是为PPT而设置，假如我们拓宽一点思路，进行简单的修改，也可以用来控制“暴风影音”等能使用快捷键的软件，读者们可以大胆地发挥想象，尽情享受无线的乐趣。

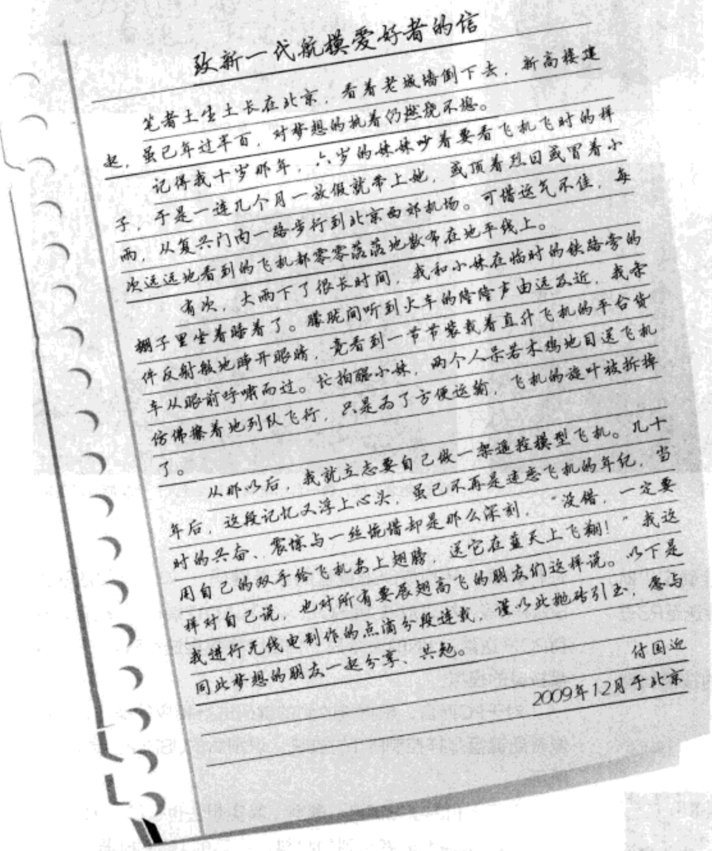
如果大家有什么好的想法，欢迎大家进入笔者的博客进行讨论。笔者的博客地址为：blog.163.com/bsgd_hhxy_0919/blog/edit。

作者自介

我是1983年出生的，从初一偶然接触到神奇的电路世界后，就一发不可收拾地喜欢上了电子制作。十多年来，环境在变，对电子的热情不变，即使现在已经工作，每天有空都还是喜欢摆弄我的那些“老朋友”——电子元件。《无线电》杂志是个很好的老师，也是我们电子爱好者交流的平台，我学到了很多知识，感受到了莫大的乐趣。我将一如既往地保持对电子制作的热情，也希望和广大电子爱好者们交朋友。

手把手带你做单片机控制的多通道无线遥控装置 1

◎付国迎



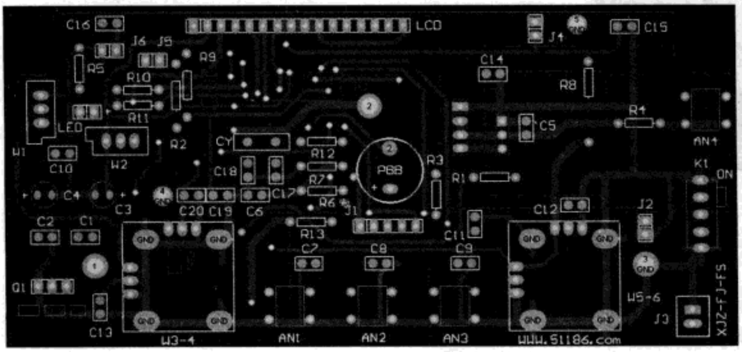


图2 PCB图

无线电遥控装置通常泛指以无线电波为媒介，将发射机一端的指令传递至接收端设备的总称。由于电波在传输过程中具有速度快且不需要其他物理条件支持等特点，所以无线遥控在工业、农业、国防上获得了广泛的应用与长足的发展。从近到我们身边的遥控灯、窗帘，远到航天领域中登月球、登火星系统工程，都可见到它的身影。

动手制作模型遥控设备，不仅可以从中学到很多书本上学不到的知识，同时也是一项充满乐趣的益智活动，尤其对于在校学生来讲，有这样的历练会使你在无线电方面的知识有突出的进展，得益一生。

XJZ-18型套件是由北京鑫嘉智科技中心专为无线电爱好者设计的无线遥控装置，可用于陆海空模型遥控等。它的发射、接收单元以单片机为核心，特点如下：

一、电路简单。由于将A/D转换、滤波器、定时器等功能模块以软件的形式写入到单片机内，所以在功能多的情况下，外围零件反而大幅减少，组装之后几乎不需调整，即可正常工作，适合无线电爱好者组装。

二、功耗低。传统的模拟式无线发射机必须一直开机工作，接收机才能正常工作，这就产生了发射机的几百mA持续工作电流。而我们这款遥控装置的发射机多数时间处于休眠状态以降低耗电，当MCU测到AD数据及开关量有变化时，才将一个数据串发出去，之后又进入休眠状态。如果AD数据及开关量一直没有变化，发射机按一个可设定的周期去重发上一次的

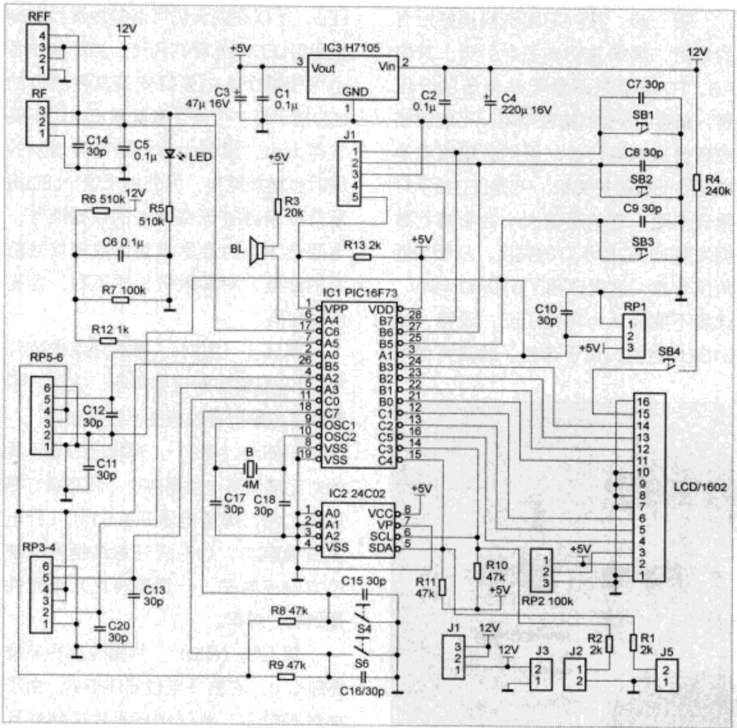


图1 电路原理图

数据值。当遥控装置所控制的对象运动速度比较慢时，可将这个周期时间设定得长一些，如1s左右。当遥控装置所控制的对象运动速度比较快时，如飞机模型，则可以将周期设定到70~200ms左右。

三、抗干扰。本装置发射机发出数据码，在接收机接收后解调还原，在数码排序中加入了握手数据、头数据、尾数据及校正数据等，只有接收到的数据符合约定规律时，接收器才执行相应指令。

本无线遥控装置的电路原理图见图1，PCB图见图2，所涉及的主要技术指标如下：

发射机部分（见图3）：

◆ 电源：DC12V，1.5V5号电池8节。

◆ 电流消耗：静态时（未发射）≤ 1.9mA，发射时≤ 150 mA，<100ms。

◆ 频率：433.92MHz，调制方式：ASK，天线1/4波长拉杆天线，发射输出功率：标准配置约16dBm，增强配置约21dBm。空中数据速率：1200/2400bit/s，可设定。

◆ 通道：4路8位A/D摇杆电位器，4路拨动开关。

◆ 功能：反舵设置、中心点设置、敏感度设置、可调发射间隔：36ms~20s，数据更新即发功能、屏上电池电压显示、发射数据流指示灯。

◆ 外观尺寸：长：120mm，宽：26mm，高：100mm。

◆ 重量：250g（不含电池）。

飞机模型接收机部分（见图4）：

◆ 电源标称：7.4V。

◆ 电流消耗：约16mA。

◆ 接收频率：433.92MHz ASK。

◆ 接收灵敏度：-96 dBm，自动AGC增益控制。

◆ 天线：1/4波长软线天线。

◆ 驱动能力：1路~2路PWM，7.4V/6A、直流有刷电机1~2只。

◆ 输出信号：1）5V/1ms±0.5 ms脉冲 标准舵机信号二路。

2）0~5V/15mA 开关信号二路。

◆ 电源低落到6V时自动关机功能。

◆ 尺寸：长：41mm，宽：25mm，高8.5mm。

◆ 净重量：7g（不含引线及插件）。

◆ 遥控距离（可视范围）：发射机标准配置时：≥100 m，发射机增加配置时：≥700 m。

车模型接收器部分（见图5）：

◆ 供电：电源5V，电流消耗约为10mA。

◆ 输出信号：1路异步串行数

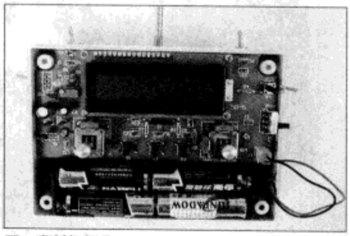


图3 发射机部分

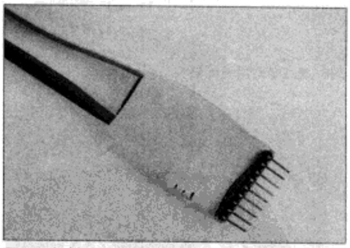


图4 飞机模型接收机部分

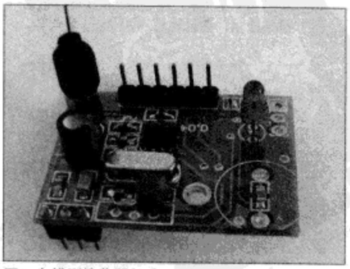


图5 车模型接收器部分

据：19200bit/s 8 1 N。

2路开关量信号0～5V，15mA，一只数据流指示灯。

◆ 尺寸：29mm×25mm，其他相关技术指标与飞机模型相同。

下面我们就一起来动手组装这套无线遥控装置吧！

第一步：收到XJZ-18套件后，按照零件清单仔细清点核对所有元器件（见图6），并花些时间看看PCB线路板示意图，做到心中有数，再动手组装。

第二步：按PCB图资料插好所有的电阻，焊牢并切去多余引脚。其中R6、R7电阻是测量电池电压的分压器，精度为5‰的精密电阻，不能焊错或用普通电阻代替，否则会错报电池电压和低压保护关机。R5是LED指示灯限流电阻，它的阻值大小会影响到数据发射时LED指示灯的亮度，从低功耗角度考虑，这里选用了510kΩ电阻，读者不要误认为写错了吧，没错，是510kΩ阻值，由于选用了超高亮绿色LED，所以在白天仍可清楚地看到数据发射时LED发光管在闪光。当然制作者也可根据个人的爱好安装其他颜色的LED指示灯，但请注意其限流电阻不要选得太小，阻值太小一是亮度增加的同时也增加耗电，另外由于这个LED指示灯取来自RF无线发射的数据信号，电阻选太小时会影响到该数据信号前沿的陡度，对发射机工作不利，容易产生错码。

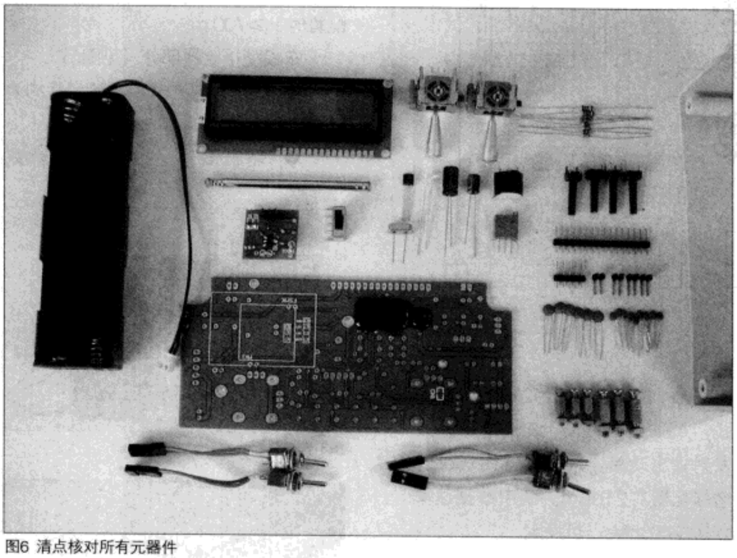


图6 清点核对所有元器件

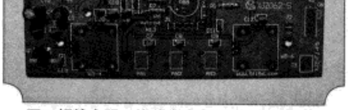


图7 焊接电阻、瓷片电容和2只铝电解电容

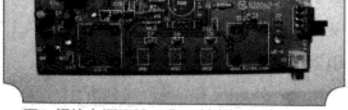


图8 焊接电源开关S1和二针电源白插座J3

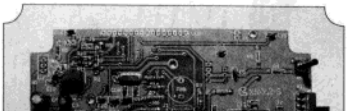


图9 焊接左摇杆电位器和右摇杆电位器

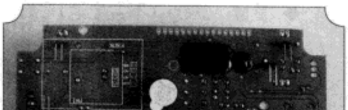


图10 焊接蜂鸣器及J2、S4、J5、S6

第三步（图7）：插好所有的瓷片电容和2只铝电解电容焊牢。在这一步要注意电解电容的极性不要焊错。

第四步（图8）：焊接LCD显示屏的对比度调节电位器RP2，调节螺钉要放在左侧，焊接电源开关S1和二针电源白插座J3，这时应注意白插座的缺口方向应向左。一定要将这几个元件插到底，焊牢。

第五步（图9）：焊接左摇杆电位器RP3-4，右摇杆电位器RP5-6，由于插线脚数多，要仔细将元件插到底且插平不能倾斜，并且应先焊接上摇杆电位器四角的引脚固定销，最后再焊电位器的连接脚。

第六步：将LED引线插入焊盘内，右为正脚，将LED灯向下按，一直到LED灯用钢尺测灯顶高为15mm时，先焊上一只脚，仔细扶正后，再焊另一只脚。焊好石英晶体及低压差、低功耗三端稳压器H7150，4个按钮SB1～SB4也焊上，注意按钮一定要上下直、摆正并插到底，不然盖上盖时会有问题。

第七步（图10）：将PCB板反过面来插上蜂鸣器，其正极朝向下边3个按钮方向。J2、S4、J5、S6这4个拨动开关插件的双针，也焊在PCB板反面，插好焊牢，还要注意J2及S4插件的双针是朝向右边的方向，不要将固定孔挡住以防以后无法固定PCB板。

第八步：焊上433.92MHz主频振荡器，标准式配置时示意图见图11，

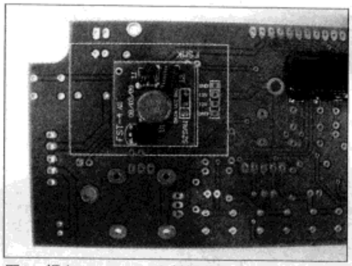


图11 焊上433.92MHz主频振荡器

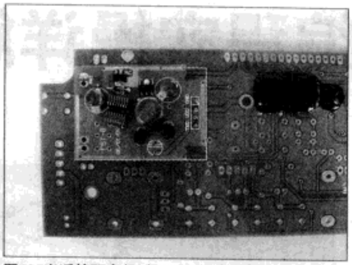


图12 当遥控距离超过100MHz时配置的高频振荡器

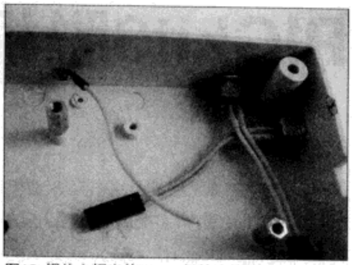


图13 焊片上焊出约60mm长的连接线

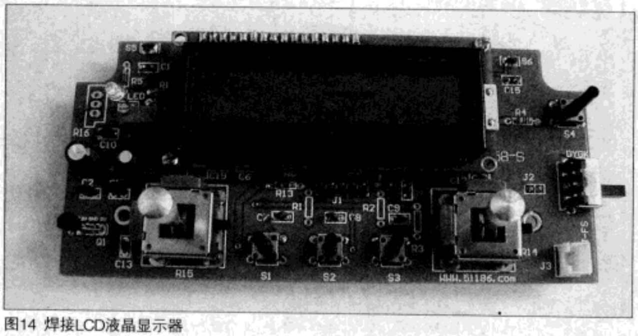


图14 焊接LCD液晶显示器

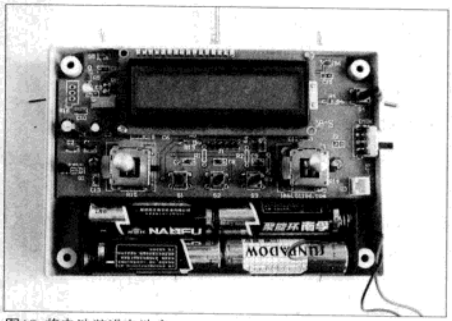


图15 将电池装进电池仓

当遥控距离超过100m以上时应当考虑选用增加配置的高频振荡器（见图12）。

第九步：取出遥控器外壳将三个支架铜柱螺丝向下旋入到塑料固定孔内，将配套的4个拨动开关焊上插头线，固定在外壳上。将M2.5内螺丝扣的天线底座铜螺柱用穿好焊片的螺钉固定外壳上，焊片上焊出约60mm长的连接线，见图13。将连接线另一端焊在发射板的高频输出孔上。

第十步（图14）：仔细再查一下所有的元器件，如无误即可往下进行。取16针排针，插在PCB板的焊盘上，不要多留出焊头，只点焊二只脚临时固定即可。安上LCD液晶显示器支架双头铜螺丝，将LCD液晶板放好后，要反复对齐看正才可以固定螺丝钉，再将16针排针上下焊好。

第十一步：插好J2、S4、J5、S6开关插件，不必分极性，将整张PCB板放入发射盒内，固定好二个M3×5的固定螺丝，试一下位置是否合适，是否有顶住、卡住的地方。

第十二步：取来8节5号干电池，按电池仓的正负标记将电池装进电池仓，将电池仓引线插头插入PCB板右侧的白插座内，注意上为负VSS（黑色线），下为正VCC12V（红色线），切记千万不可错，见图15。向上拨动遥控机壳右壁上的电源开关后，按下S4时LCD液晶显示屏上背景灯应点亮。调整RP2将LCD液晶显示屏上的对比度调整为适当明暗。

第十三步：关闭电源开关后，取出万用表一只，调到直流电流100mA挡，把二只表笔将电源开关串入电路见图16，电流应在1.6～1.8mA上下。将万用表调到直流电压挡，黑色表笔放在摇杆电位器外壳上即VSS，红色表笔小心的测一下H7150三端稳压器的最右脚即5V输出脚是否为5V。

第十四步：取遥控器上盖试盖一下，看LED指示灯及SB1、SB2、SB3、SB4按钮是否顺利露出面板，如果有顶起上盖的现象要根据实际情况

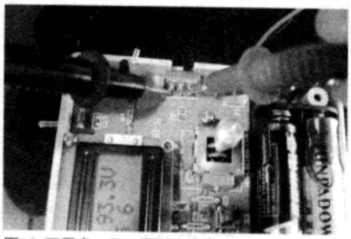


图16 万用表一只，调到直流电流100mA挡，把两只表笔将电源开关串入电路

进行修正。盖好上盖还要再按一按这4只按钮是否动作灵活，不能卡住。

第十五步：盖好上盖，将4个固定螺丝从后背旋紧，将配套的拉杆天线旋紧在遥控发射上边的天线座上，到此发射机组装工作告一段落。

打开电源开关，看到LCD上已出现数据显示，同时，可以看到绿色LED以大约间隔2s(出厂设定值)一次的速率在闪亮。推动左右的摇杆电位器动作时，LED指示灯应不停地在闪，每闪亮一次即是向空中发出无线数据串。

各位欲知如何调试，且看本刊下期连载。供货信息见第12期第99页。

PICkit3脱机编程实操详解

◎刘作新

笔者曾在《无线电》杂志2009年第8期发表了《PIC单片机最新编程器/调试器PICkit3初体验》一文，文中介绍过PICkit3“后续会支持单片机的脱机编程”，PICkit3在硬件设计上已经具备了脱机编程功能，只是当时发布的集成开发软件MPLAB IDE V8.30不支持PICkit3的脱机编程功能。微芯公司在2009年10月发布了MPLAB IDE的更新版本V8.40版，从此版本开始，MPLAB IDE集成开发软件支持PICkit3的脱机编程功能。笔者在第一时间下载并安装了MPLAB IDE V8.40，对PICkit3的脱机编程功能进行了实际的操作验证，下面给读者朋友们汇报PICkit3实现脱机编程功能的操作过程与步骤。

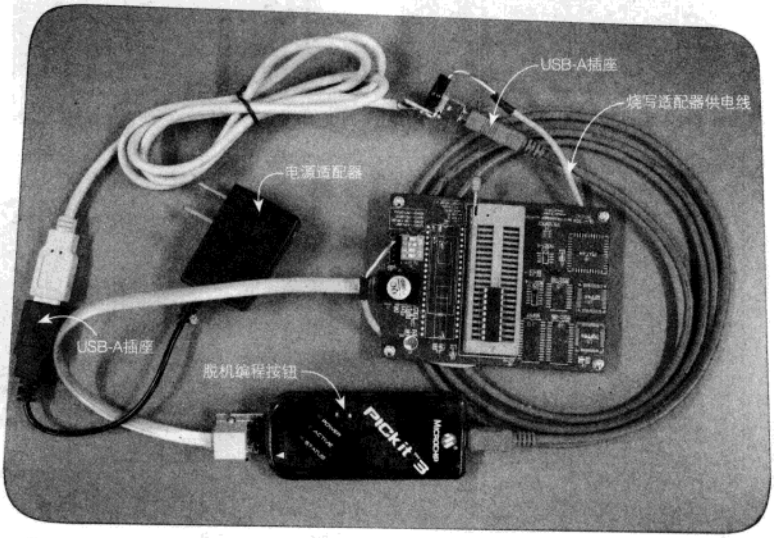


图1

准备工作

1. 下载并安装集成开发软件MPLAB IDE V8.4版或更高的版本。

2. PICkit3脱机编程时的电源供应。PICkit3脱机编程时对电源适配器的要求是：直流5V±10%输出，能够提供至少100mA的电流，输出接口是USB-A型插座。计算机的USB端口、USB集线器、数码产品（如MP3、MP4）的充电器/电源适配器等，只要电压、电流、接口符合上面的要求，就可以用来给PICkit3供电。笔者就选用了一款MP3的充电器当作电源适配器给PICkit3供电，参见图1。对于动手能力强的读者还可以自制电源适配器，如用可充电电池组制作的电源适配器，可以在没有交流电源的地方使用。

3. 目标设备的供电。PICkit3在脱机编程时不能给目标设备供电，所以在脱机编程时目标设备要由自己的电源供电。即使PICkit3与烧写适配器连接，烧写适配器也要由独立的电源供电，不能从PICkit3的ICSP接口获得供电，这一点与PICkit3在非脱机编程时不同。

4.PICkit3脱机编程时支持的PIC MCU种类。除了PIC32MX系列MCU目前不支持外，PIC其他的闪存型MCU全部支持。

PICkit3脱机编程操作步骤

1. 将烧写文件下载到PICkit3主机

◆通过USB电缆将PICkit3与电脑进行联机。

◆启动MPLAB IDE集成开发软件，在主菜单中点击Configure→SelectDevice，在Select Device对话框的Device下拉列表中选择与将要烧写的芯片对应的型号。如果需要，还要对Configuration Bits（配置位）进行设置。

◆在主菜单中点击Programmer→Select Programmer→PICkit3，选择PICkit3为编程工具。由于器件类型的不同，可能会出现提示下载新固件对话框，如图2所示，点击OK，下载新固件。

◆固件下载完成后，PICkit3尝试

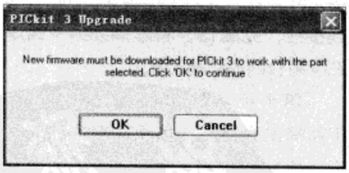


图2

图3

与目标设备连接，这时在Output窗口会提示“PK3Err0045”错误，如图3所示，不用理会这个错误提示，继续下面的操作。

◆ 在主菜单中点击File→Import，将烧写文件导入到MPLAB IDE的工作区，点击View→Program Memory打开程序存储器观察窗口，在此窗口可以显示出导入的烧写文件。

◆ 在主菜单中点击Programmer→Settings，出现PICkit 3 Settings对话框，如图4所示，点击Programmer to go选项卡，在Image Name对话框中为上面导入的烧写文件填写一个映像文件名，之后点击Send Image In Memory按钮，下载映像文件到PICkit3；Output窗口会出现下载提示信息，下载完成后，Output窗口会出现“PICkit3已进入脱机模式、移除PICkit3”的英文提示信息，如图5所示；此时PICkit3上的活动指示灯(ACTIVE) 开始闪烁，表示PICkit3进入脱机模式。

◆ 关闭MPLAB IDE集成开发软件。如果不用电脑给PICkit3供电，则拔出PICkit3与电脑连接的USB插头。

2．使用PICkit3脱机编程

◆ 用 ICSP 通信电缆将 PICkit3 与目标设备连接起来，笔者连接的目标设备是烧写适配器。将 PICkit3 的 USB 插头插入电源适配器，之后再给目标设备供电，注意上电的顺序是先 PICkit3 主机，后目标板，断电顺序则反之。由于烧写适配器工作时消耗的电流比较小，所以它的供电也取自 PICkit3 的电源适配器，参见图 1。低电压器件要独立供电，不能从 PICkit3 的电源适配器取电。

◆PICkit3上电后，电源指示灯（POWER）点亮，同时活动指示灯（ACTIVE）闪烁，表示PICkit3已进入脱机编程模式，并为脱机编程做好了准备。

◆将要烧写的芯片放入烧写插座，将插座锁紧。

◆按一下PICkit3上的脱机编程按钮，状态指示灯（STATUS）发黄色光时，表示正在对芯片烧写编程，当状态指示灯发绿色光时，表示烧写编程结束并且成功，如果状态指示灯变为红色，表示PICkit3对芯片的烧写编程出现了错误。

◆芯片烧写成功后，取下芯片，换上同型号的芯片，重复上一步和这一步操作，就可以批量烧写芯片。

3．退出脱机编程模式

◆通过USB电缆将PICkit3与电脑进行联机。

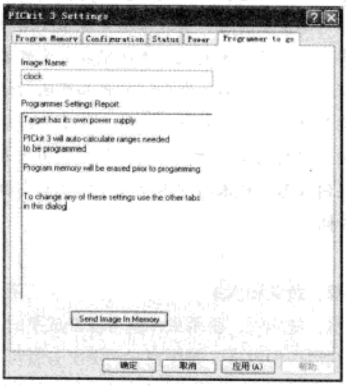


图4

图5

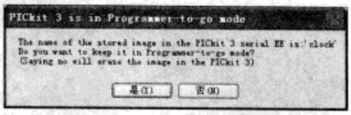


图6

图7

◆启动MPLAB IDE集成开发软件，在主菜单中点击Programmer→Select Programmer→PICkit3，选择PICkit3为编程工具；之后会出现一个信息对话框，如图6所示，在此对话框点击“否”，将擦除PICkit3内下载的烧写映像文件并且退出脱机编程模式，这时在Output窗口会有退出脱机编程模式的英文提示信息，如图7所示；如果在信息对话框中点击“是”，则PICkit3继续工作在脱机编程模式。

笔者使用PICkit3的脱机编程模式对PIC16F73、PIC16F84A、PIC16F628A、PIC16F876A、PIC16F877A这5种型号的单片机烧写编程全部顺利通过。

PICkit3的脱机编程功能可以使它脱离开MPLAB IDE集成开发软件的支持，脱离开电脑的支持（采用电源适配器时），独立完成对芯片的批量烧写编程和对芯片的在电路板编程，并且脱机编程时支持的芯片型号很齐全，笔者感觉PICkit3的脱机编程功能是很实用的。

◎史振道

用单片机制作新型数字仪表

从“开心农场偷菜钟”到智能仪表

21世纪人类社会进入了信息时代。数字技术及以单片机为核心的自动控制技术和产品，已经进入了社会的各个层面。社会对该技术和产品的需求与日俱增，但是市售的数字仪表多是数字面板模拟机芯，无法与现代数字产品配套。笔者长期在第一线从事电子制作和自动控制技术开发工作，将曾经多次使用过的单功能仪表和装置，进行浓缩和升华，成为一种全新的数字产品。它功能多，可靠性高，使用简单，升级容易。能方便地与现代技术接轨。稍作变动，还可作为实战演练的单片机教具。本产品的面市，希望能对解决电子业界当前面临的“三业”问题有所帮助。

一是*就业*问题。当代知识青年，会使用电脑已是必需的起码条件，并不算什么特长。而熟悉单片机，可能会使招聘者喜出望外。笔者希望通过实例现身说法，让读者找到速学单片机的途径；二是*创业*问题。面对社会对现代数字技术和产品的强大需求，许多科技开发企业和从业者往往束手无策。在业界订单层层转包，舍近求远等现象普遍存在。本产品试图将常规数字产品通用化、模块化，大大降低创业的技术门槛，让更多懂得一些电子技术的人，迅速完成从爱好者到创业者的角色转换；三是*敬业*问题。在下厂洽谈和安装时常常发现围绕某一项目的工程师就有好几名，有合适的产品可选的话，凭自身能力这些人士完全可以将本职工作做得更好而无需外包。本产品的面市，希望能帮助这些在岗的技术人员，放下包袱，开动机器，走革新创新之路，人人争作技术能手和革新高手，成为敬业爱厂的模范。本文介绍的仪表／开发板，实际上是用土办法在学习、开发、推广单片机。笔者在设计制作各种数字产品时，未用过万用表以外的任何仪器，也未用过本开发板以外的实验台，降低了学习、开发单片机的门槛。希望通过这次介绍，能有更多的人学习、使用单片机。

当前“开心农场”的游戏风靡全国。本产品就应运而生。据笔者观察，电子爱好者不玩电脑的非常少，而电脑玩家不沾电子制作的却相当多。这实在是一个很大的遗憾。要知道众多网友才华横溢、思路敏捷，以其对电脑的娴熟稍微花些时间兼顾一下电子技术，就可能成为双料人才。这等好事何乐而不为？动心了吗？现在就告诉你怎样制作一个小巧实用的电子偷菜钟。如果你感兴趣，立即动手，不要迟疑，兴趣是最好的老师。以后的事情嘛，自然水到渠成。

开心农场和偷菜钟

开心农场是近来迅速流行的一种休闲网络游戏。玩家可以在网上建立一个虚拟的农场，在自己的土地上种植庄稼、蔬菜和水果等作物，每天只需浇浇水、施施肥、杀杀虫，就可以在成熟时获得一份收成，如果把它们卖出去就可以得到金币，用来购买种子、化肥和农场装饰品，体验到付出后的成就感。游戏中有一个互动的环节，就是允许互偷，即如果到了蔬菜成熟时没有及时采摘，玩家的朋友就可以把菜“偷偷”采走。偷菜钟就是一个提醒蔬菜什么时候成熟的计时器。实际上它是一个具有10大功能的智能仪表。作为偷菜钟时，将农场好友按自编序号（1～10）命名，其对应的菜品成熟时间依次输入仪表。菜品成熟时，鸣笛提示，并显示农场代码。本偷菜钟是脱机运行，记忆不丢失。更重要的是网友可以通过把玩观摩，从感性上认识数字技术和自动控制。有兴趣的话，进而关注一下电子技术。适当DIY一下，电脑爱好者也可能成为电脑电子双料技术人才。

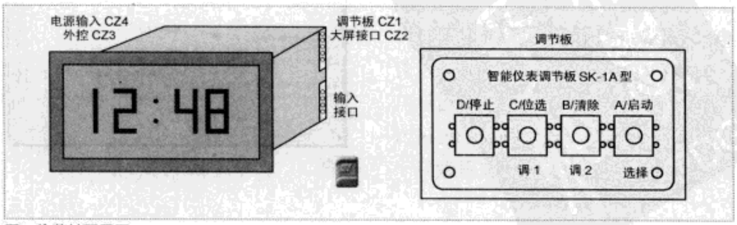


图1 偷菜钟配置图

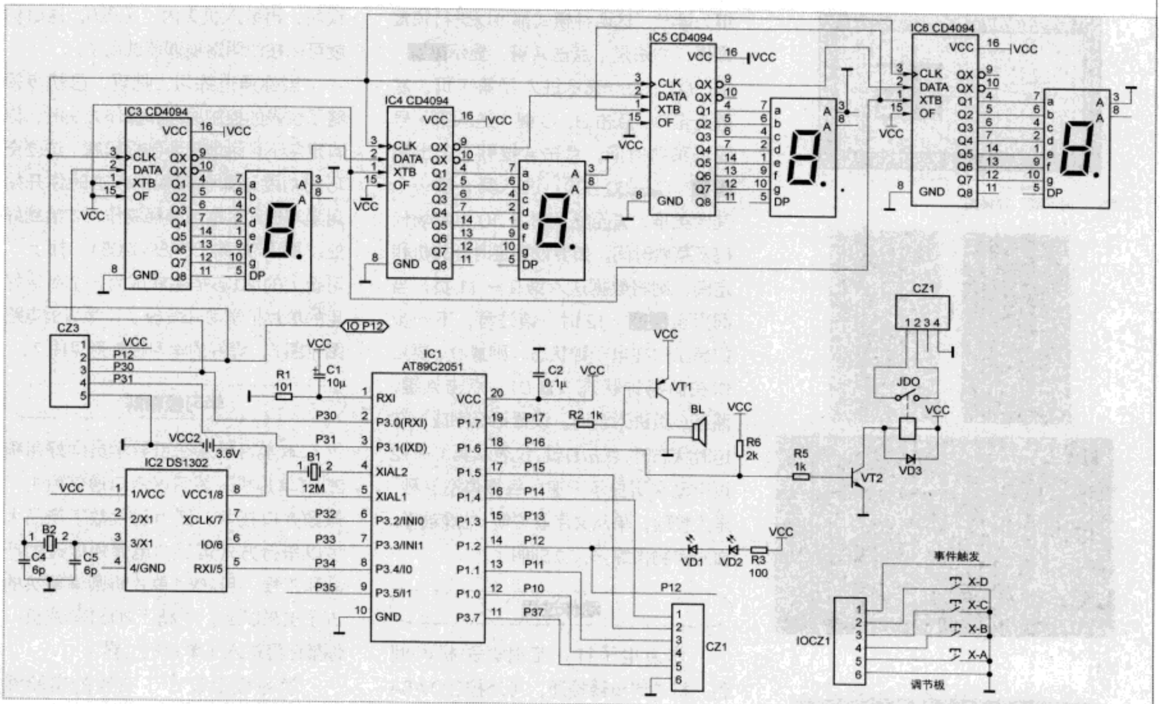


图2 主板

产品结构

既然终极目标是电子工程，起点就不能太业余。整机外形见图1，外壳采用国标40×80仪表壳。内置两块PCB板。一块叫主板，主要由89C2051单片机、DS1302时钟芯片和4位0.56英寸数码管组成。为使显示稳定并利于扩展，采用静态显示驱动4位CD4094。电源板上装有小型开关电源及I/O接口。外置调节板采用4键制，如需遥控，接收头可装于调节板反面，4键遥控器可圆满操作。

原理概述

电路原理见图2，DS1302是新型时钟芯片，受单片机控制。给单片机编制4套程序，即校时、走时、定时、比较。执行走时程序时，单片机不断对时钟芯片进行访问，依次取走时、分、秒的数据。将此数据存于62H、61H、60H内，当发现60H内为00时，表示达到整分时刻。对4位显示器进行译码刷新显示。每当60H内数字变化时，给和“冒号”相连的P1-2脚一个时长为0.2s的正脉冲，即为“闪秒”。校时程序用于调校时钟，定时程序用于预置菜熟所需时间，比较程序用于判断哪一组时间数据与当时时刻相等，即为“时间到”。汇编程序印在与套件配套的学习资料内。

数据存储

偷菜钟首先是一个电子钟。与电子钟相关的定时数据是开电器时刻、关电器时刻、定闹时刻，此3项数据记在第9、10、11页。电子钟工作模式定为00模式；偷菜钟定为01模式。模式选定后，记在第12页。10组与农场号（农场好友）对应的菜熟时间依次记在第1～10页。每页只记录2字节数据：时、分。无论是电子钟还是偷菜钟，依次从头至尾键入相关数据，至第12页时键入工作模式。从第12页到第0页翻转时，所有数据被处理、记忆。进入第0页后，正常走时。翻页方法见操作说明。记忆地址见下表（以12：00时操作为例）见表1。

表1

农场/页码	电子钟	偷菜钟	记忆数据
1		2:20	14:20
2		1:40	13:40
3		2:20	14:20
4		3:15	15:15
5		4:30	16:30
6		00:18	12:18
7		1:28	13:28
8		00:57	12:57
9(定时开)	18:30		
10(定时关)	19:00		
11(定闹)	06:00		
12(模式)	■■:00	■■01挡	二选一
备注	北京时间	菜熟时间	北京时间
如不设开关电器一项，偷菜钟可定10组			

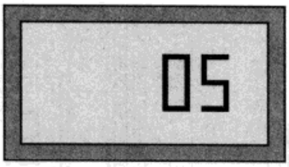


图3 “时间到”效果图

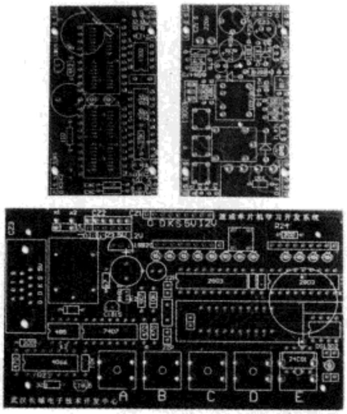


图4

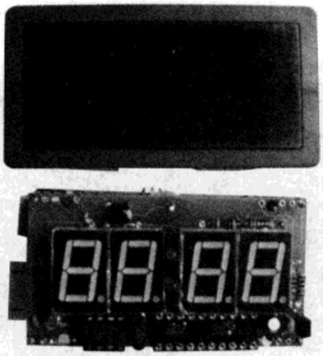


图5

操作说明

网上“偷菜”游戏的关键，是按照菜熟时间准时抢先收菜。本仪表可按不同农场好友的菜熟时间预置，到菜熟时准时提醒你“偷菜”。配置的调节板上有4个键，功能外形见图1。A键（切换）、B键（调2）、C键（调1）、D键（停止）的功能与遥控器相对应。00挡电子钟模式和01挡偷菜钟模式时，调B、C键校正时间。此时B键为位选，C键为调节。这两种模式都可以进行预置操作，方法是：点击A键，显示■■：01—00：00，表示进入了第1页，底数为全0；点击B、C键，送入第1号农场菜熟时间。点击A键翻页，出现■■：02—00：00，进入第2项……其余类推，直至送入8～10组农场代码及菜熟时间。如要设置定时开关机和定闹，则将数据送入第9～11页，当翻页至■■：12时，请注意，下一步如想工作在电子钟状态，则置0；要工作在偷菜钟状态，置01。点击A键，翻至0页进入走时。设置记忆完成。在走时状态时，点击D键，仪表从第1～12页自动翻页显示一遍，每页停留2秒，是为校验。单从文字看说明，枯燥难懂。面对实物再练习，立刻明了。

动作过程

作为电子钟，定时开关机时间到，机内继电器接通，可外控220V/5A负载。关机时间到，继电器断开。定闹时间到，蜂鸣器响一秒，停一秒，共响30声，按D键可止闹。作为偷菜钟，菜品熟时出现■■：XX代码，表示某农场菜已熟，蜂鸣器鸣叫。点击D键止闹，代码显一分钟。在送数时，只需注意代码与农场（开心好友）的关系，不必考虑时间的先后，可按任意顺序送数，由单片机自动排序。图3表示5号农场菜已熟。

套件配置

本仪表套件分两组——仪表和学习板。仪表分主机和电源两块PCB板，学习板套件与仪表套件分别包装。两套配件与成品仪表同价，学习板实为赠送。PCB板上印有字符和规格。应先对照原理图将主要零件的外形、名称、功能搞清楚，再动手组装。图4为PCB板的外形。

焊接完成以后的仪表内芯呈框架结构，可直接通电测试。反复试用无误后，再装入机壳内，见图5。这时你就可以按说明逐项调节试用了。

当你通过练习、把玩，已初步领略了仪表的控制原理和操作方法时，你肯定急不可耐地想要刨根问底：这些奇巧的功能是如何实现的？这时你开始用学习板动手练习编程制作，才恰到好处。取下仪表上的89C2051，插上学习板上的20芯插头就成为一个简洁好用的单片机学习开发板了。学习板电路图见图6，焊好的学习板外形见图7。

学习板精解

本学习板意在引导学员学好用精2051单片机。练习以串口通信为主，兼顾并口技术。因为现代数字产品大多以串行方式运行。笔者所做过的产品和工程，用2051单片机圆满解决的占了80%以上。学精了2051单片机，你就已经进入了单片机世界。

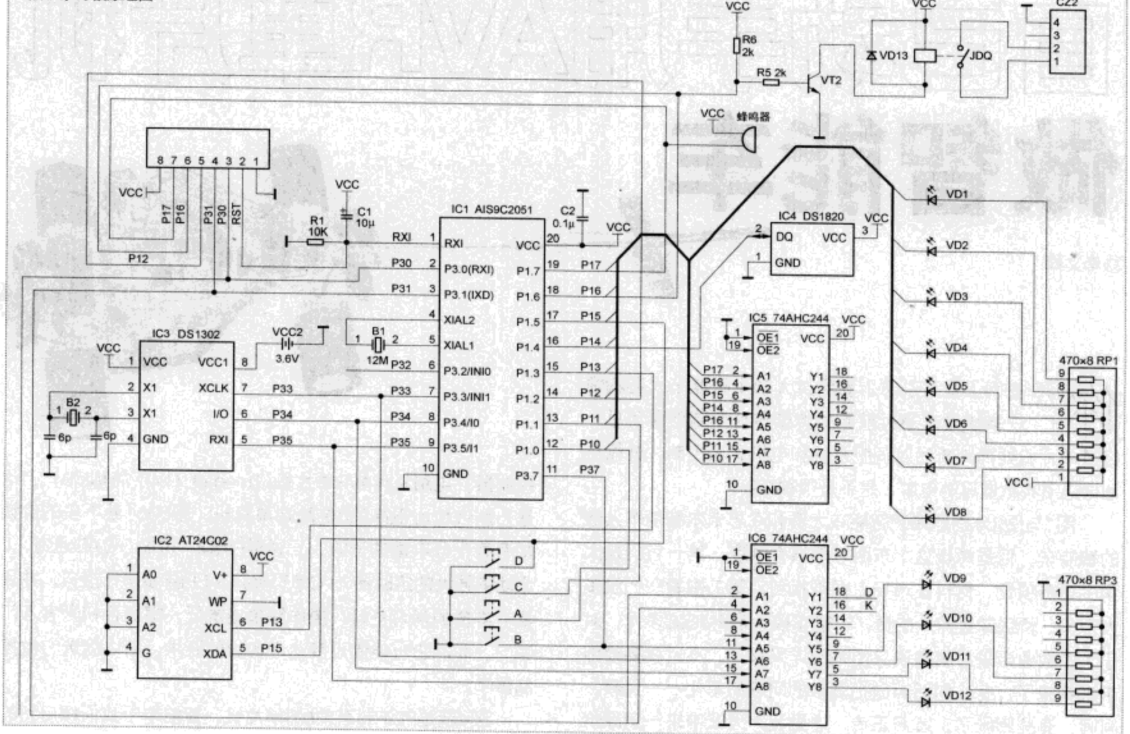
学习板上设计了完整的实验线路。备有24C02、74LS244、18B20及蜂鸣器、继电器、单片机插座和按键。通过插座CZ1与仪表连接，便成为一个完整的学习开发系统。另备有5V电源插座和显示输出插座CZ2，以备学习板单独使用之需。

掌中宝，金刚钻

通过亲手DIY，你手中的小仪表俨然就是你的掌中宝了。因为你可以把它当作便携式闹钟用，又可以高效率地支持你的游戏活动。还可以通过把玩，体验数字技术的精妙。这时的你很有点沾沾自喜了。如果是这样，那你的眼光还短浅了一点，因为你手中这套东西，还是可以刻瓷攻玉的利器——金刚钻。

随着数字技术的快速兴起，供求矛盾日渐加大，真正了解这门技术的人并不多。机会到来别错过，当出手时就出手。作为一个电子爱好者，有技术特长，利用手中工具，为人排忧解难，那可是一举几得的好事。果真

图6 学习板原理图



这样，那你既尝到了成功的喜悦，又品到了淘金的滋味。这次实战成功，算是你放出的第一颗卫星。你只需作一些小的添置，加一个4位LED显示器和一个小型开关电源，原本白拣的学习开发系统又独立成军了。你可以用它放出第二颗、第三颗卫星。这可是顺理成章之事，绝非夸夸其谈哟！

表2 仪表功能介绍

挡位	性能	计时范围	备注
△	电子钟	00:00~23:59	定闹，一段定时开机
※	事件计时	××:××(5秒)	长显时、分
		××:××(2秒)	短显分、秒
1	5段计时	5设置组开关时刻	设置方法同偷菜钟
2	倒计时	设置1秒~99分59秒	开机倒计，全0停止鸣笛
3	顺计时	00:00~99分59秒	A键开、D键停、C键清除
4	累计计时	00:00~9999小时	同上
5	计数器	00:00~9999	同上
备注：4键遥控，插接4~12英寸大屏			

SK-1A型智能仪表功能介绍

本智能仪表具有10大功能：电子闹钟、定时开关机（1kW负载）、事件计时、10段指示、倒计时钟、顺计时钟、累计时器、产量计数、大屏显示、遥控操作，其性能见表2。

定时设置方法同偷菜钟。

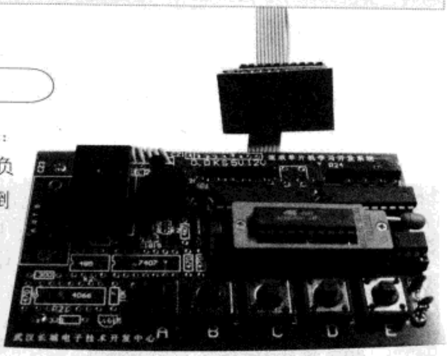


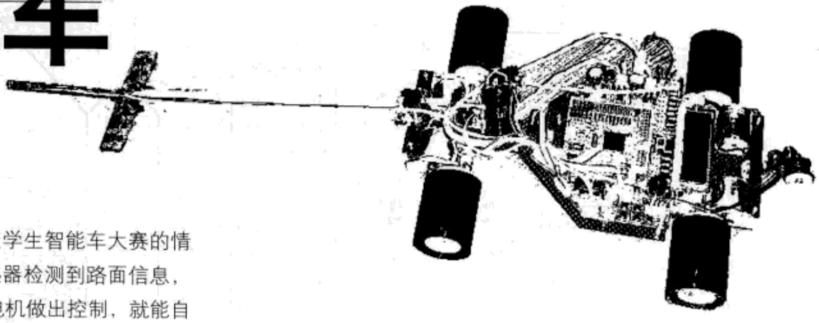
图7

事件计时器是将K4对地触发，即产生定时效果，各种功能的互相转换非常简单。按着A键开机，显示全0，3s后松开。点击C键，显示■■01—■■05确认工作模式后，再点击A键，即进入该挡工作，且本工作模式被记忆。快速选挡功能使多功能仪表像单功能仪表一样使用简便。新型数字设备的突出优点是升级容易，扩展方便。关于用本仪表制作大型仪表和生产看板的方法，如何用学习开发板设计制作LED动感广告和各种数字产品，下期再作介绍。

供货信息见2009年第12期第100页广告。

自己动手用AVR单片机做智能车

◎李文卿



你也许在网上或是杂志上看到过大学生智能车大赛的情况，一辆模型车通过前面的传感器检测到路面信息，经过单片机处理判断后对伺服系统和电机做出控制，就能自动寻迹沿着跑道风驰电掣，是不是很神奇呀？

图1与图2分别是瑞萨智能车大赛和飞思卡尔智能车大赛的智能车。但是想玩这个东西可是很有难度，第一它们是大学生竞赛项目，材料在市场上很难找到。第二别看它们没多大个头，价钱却是惊人的贵，一辆车模大都得1000多元，对于大多数业余爱好者来说只能是望洋兴叹了。不过我要给你带来希望了，有一句话叫做把复杂的问题简单化——贡献。呵呵，有些膨胀了。言归正传，这里我为大家带来一辆廉价的智能车，成本二三十块左右，而且是废物再利用，我的口号是化腐朽为神奇。如果你有些心动或是好奇请继续往下看，我会非常详细全面地为你介绍我的山寨版智能车。

图3就是我用一个旧随身听和一个塑料盒子改装的小车控制器。电路采用AVR单片机ATmega8（以下简称M8），这是一款性价比很高的8位高端单片机，跟8051差不多的价钱却有着十分丰富的资源，三通道PWM，6路10位AD通道，3个功能强大的定时器，I^2C串行接口，SPI异步串行接口。并且具有丰富的学习资料，操作简单成本低，很适合初学者入门学习。同时它也能满足我这个实验的要求，所以就选它做控制器了。

图4就是PDIP封装的M8单片机，智能车中我们使用到的资源有A／D转换、PWM、普通I／O口，所以通过这辆小车我们基本上就把M8内部资源熟悉了一遍。如果你觉得这个东西有意思，如果你想学习AVR，那就跟我来DIY。

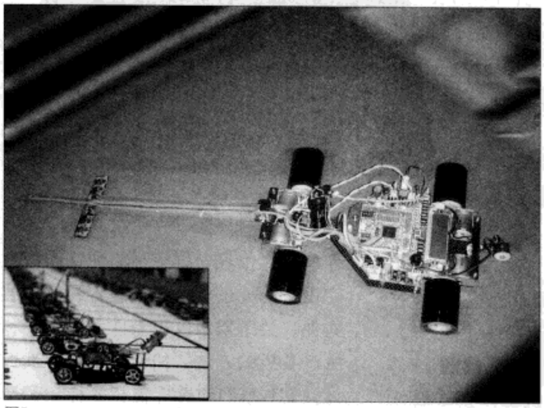


图2　　图1

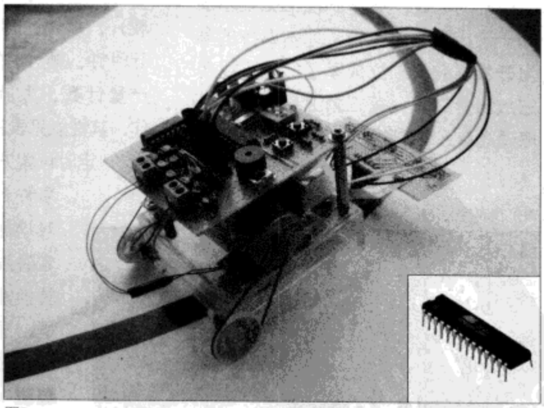


图3　　图4

入门篇

如果你已经会使用M8或是AVR其他系列，这一章你就可以跳过，后面还有很多工作。如果你以前没有接触过AVR的单片机，我将会贯彻《无线电》真实详细态度为你介绍整个制作过程。

图5是单片机ISP下载线的电路图，下载线用的是并口，电路十分简单，只需要一个芯片74HC244，图6是我做好的实物图，在这里要注意的是并口头的线序问题，电路图中的线序与图7的视图方向是一致的，从右边第一个引脚开始，按逆时针方向编号。但是笔记本和比较新的主板上都没有了并口，这给我们学习单片机带来了很大障碍，不过市场上、网上也有卖USB下载线的，20块钱左右，也可以接受。

接下来要做一个核心板，也就是常说的最小系统。图8给出了电路图，sw、4001、C5，R1组成了复位电路。晶体选用8MHz的，C6、C7两个30pF的电容帮助起振。

VCC为大于7V的电源电压，因为7805稳压时输入和输出端要有2V压差。J3为ISP下载线接口，可以直接用排针。

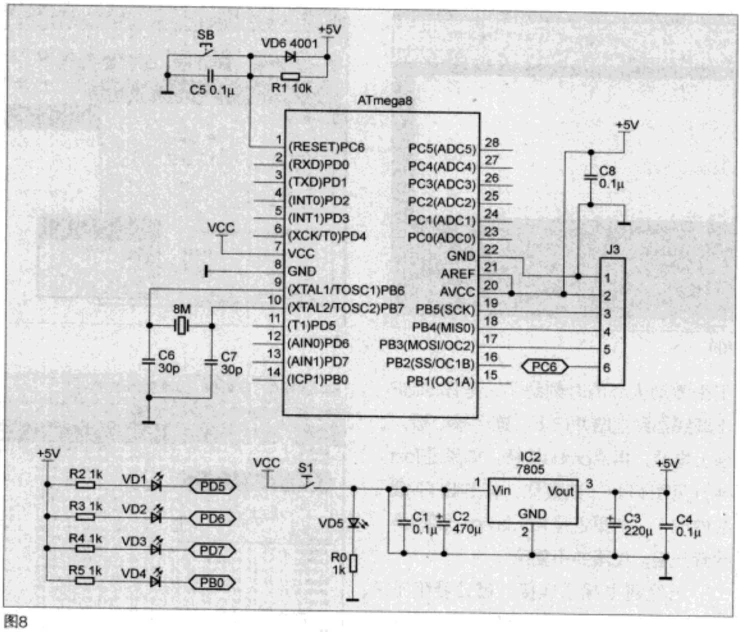


图8

如果这一切你都完成了，我们就开始下载程序。首先你需要下载一个软件ponyprog2000，这是一款支持多种微控制器在线串行编程的软件，使用很方便，也很稳定。它的安装也没什么特别的，按提示一步步进行就ok了，安装完以后打开ponyprog，界面如图9所示。使用前我们还需要一些设置。点开菜单项的Device项，选avr micro，选M8。

这时我们已经选定了单片机型号。还需要端口设置，ponyprog的工具菜单中有一小扳手形状的按钮，点开它进行连接设置。打开后选parallel，在下拉菜单中选中Avr ISP I/O项，选LPT1，然后点probe按钮测试，结果是Test failed 如图10所示，这是因为还没插上下载线，现在没有建立起连接。接

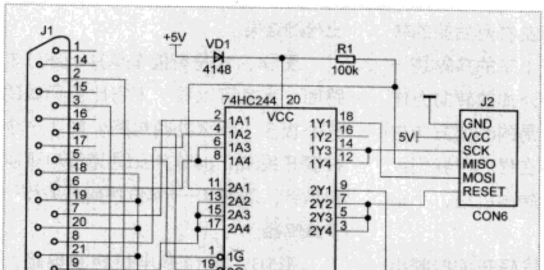


图5

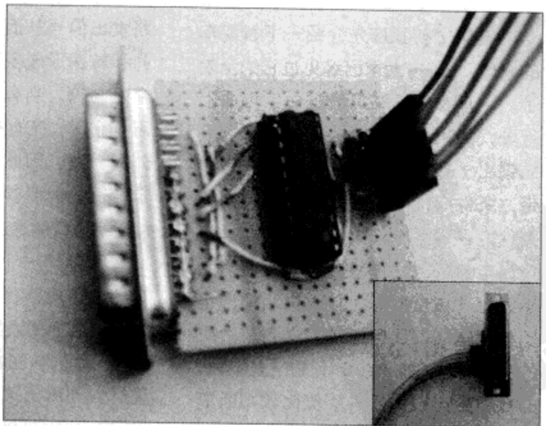


图6

图7

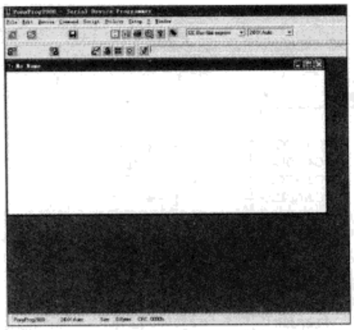


图9

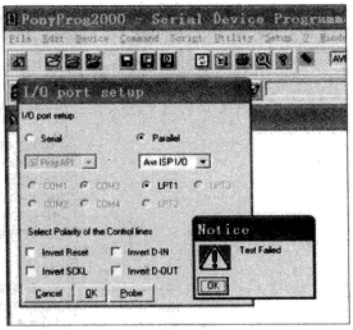


图10

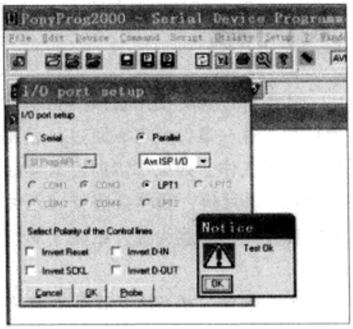


图11

下来激动人心的时刻到了，把你的ISP下载线插到电脑并口上，连上核心板，通上电源，再点probe按钮，如果是Test ok（见图11），恭喜你，你的ISP下载线做成了，如果还是Test failed，请你再检查一遍，电路并不复杂。

已经建立起了连接，就让我们下载第一个程序吧，我在智能车，程序这个文件夹里放了一个叫做LED的测试程序。在ponyprog里打开智能车\程序\LED的文件夹，文件类型选择hex型，这时窗口里会出现LED.hex文件，选中打开，然后点写入按钮（图中我圈出来那个），确定，就开始写入程序了，见图12。

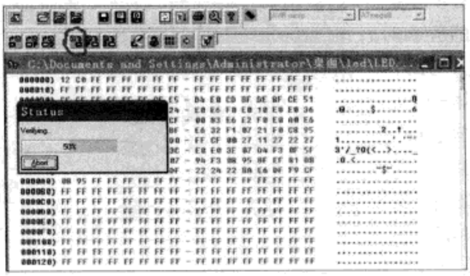


图12

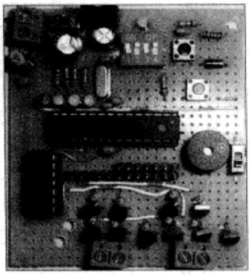


图13

程序写入后，看看你的核心板吧，3个LED灯在明暗交替地闪烁，图13是我做的最终电路，虽然比你的元件多一点，不过在这个测试里跟你做的效果是一样的，程序烧进去以后LED就开始闪烁了。

你现在的一小步已经是完成智能车的一大步了，万事开头难，既然已经开了张，就让我们把买卖做大，从学习到应用。

应用篇

在做之前我应先介绍一下智能车的原理，图3中大家已经见过它的全貌了。小车在中间贴黑线的白色地面上行驶，如果地面不是白色的可以用废纸铺出一条小路，再在上面贴上黑胶带，条件要求不是很苛刻，因为判断条件能在程序中修改。车身前面是一排光电传感器，传感器红外光照射到黑线上不被反射时，接收电路输出电压就会升高。此电压信号送到单片机的30采样端口进行A/D转换。根据得出的数字量与设定好的阈值比较判断道路的轨迹信息。单片机对控制驱动电路发出信号从而控制左右两后轮的转向和转速形成差速。小车的前轮是一个万向轮，当有一个外加的转向力作用于它时，它能很容易的改变方向与外力一致。因此如果在程序中我们设定合适的速度参数与转向的话，小车就能实现智能寻迹了。

我们用一个4位拨码开关控制小车挡位速度，挡位是按拨码开关状态以二进制形式设置的。4个LED是指示灯，分别对应左右4路30转换的判断结果，当判断出某一个传感器检测到黑线时，对应的LED就点亮，很直观地看出检测结果。

图14、15是智能车单片机部分电路图，大家可以看一下它比我们做的核心板多了什么外围电路？加了一个按键开关S2，J4作为ad通道接口可以用排针，添加了一个4位拨码开关和一个蜂鸣器。

图16、图17是电机控制电路。CD4069是一个反相器，它的作用是使两个桥臂基极电位总是反相，这样能保证左右各有一个三极管导通，另一个截止，从而出现一个流过电机的通路。4个二极管组成一个H桥，控制使

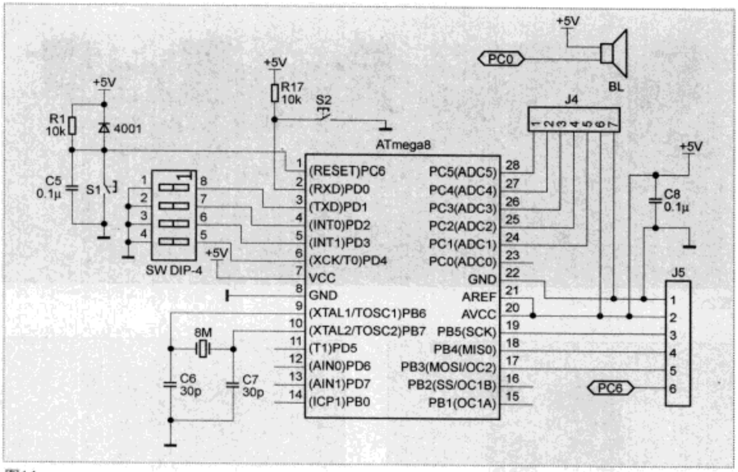


图14

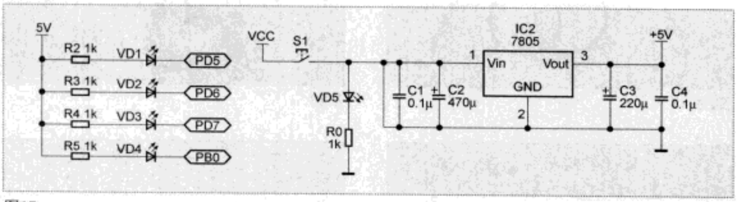


图15

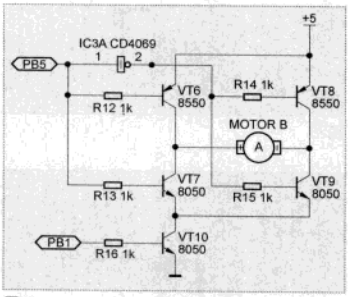


图16

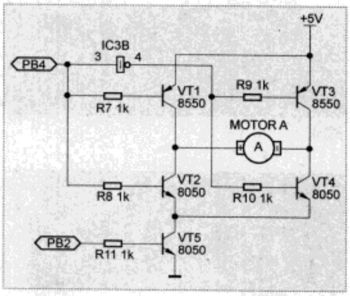


图17

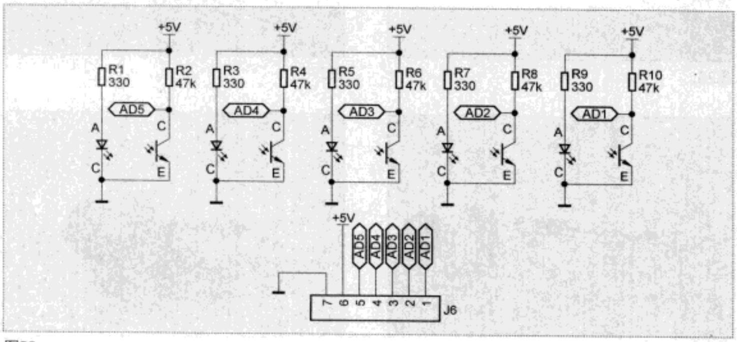


图20

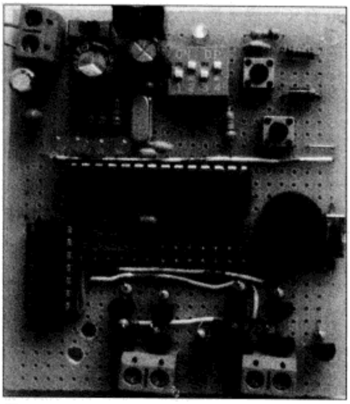


图18

能端可以控制直流电机正反转。H桥最下边的两个NPN型三极管的基极接到单片机的pwm口PB1、

图19

PB2，通过改变占空比可以达到调速的目的。

图18就是最终完成的控制电路三个接线端子，左上角的是电源，剩下的两个是电机接口。

图20是红外对管传感器电路，红外传感器是用来检测路面信息的。发射管发出红外光，发射到地面时不同颜色和灰度对光线反射率不同，接收管接收光线多少会反映在它与外围电路的电压信号上，通过检测电压就能对路面信息进行判别。在这里我用的是rpr220，也可以用tcrt5000代替。如果都买不到的话，你可以去电子市场买分离的红外发射管和接收管，然后用黑胶带缠上管壁，只漏出头部以防止接收管直接接受到发射管射出的红外光。不管是哪一种红外对管，发射管都是透明的长脚是A、短脚是C，接收管一般是黑色的或是蓝色的，长脚是E，短脚是C。记住这个原则你就不会接错了，图19就是rpr220。

电路在焊接过程要注意红外传感器为热敏元件，很容易受热损坏。电路接好以后，通上 5V 电源，用万用表测量 5 个 AD 口电位，光电管前面什么也

没有的时候大概是4点几伏，用手挡在前面时电位会降低，降低得越多说明管子性能越好，一般都有一伏以上的变化。

图21是我做好的传感器。

如果这一切你都完成了，那么控制部分就结束了。如果说以上你做的是电工的活，那么现在你要做一名钳工了，然后还要做程序员，等整个工程都完成了你就是机电一体化工程师了，呵呵，吹大了。言归正传，让我们开始闭门造车吧。

首先你需要有一台旧随身听或是旧录音机，我们需要在里面拆出几个零件，两个电机（录音机里一般只有一个电机，但是这种电机很好买到，价格也不贵，但要尽量使两个电机参数一致），两个皮带轮，一个压带轮，两个皮带（可以买到也可以用细橡皮筋代替）见图22。还需要准备一个塑料盒子，大小适中一些，选塑料盒子是因为好加工。两根一粗一细的圆珠笔芯，粗的水笔芯正好可以套在皮带轮轴上作轴承，细的圆珠笔芯可以紧固在轴上做一端固定，还需要些细铁丝，见图23。

也许你对我连环画式的教程早已感到吃惊，但是有些东西真的是只可图会不可言传，我想尽量详细，使你能顺利完成。我们拿到皮带轮之后把粗细笔芯裁成长短适中的小段，见图24，然后组合起来保持中间笔芯可以顺利转动，见图25。

在你准备的塑料盒上打几个洞，把做好的轮子用细铁丝拧在上面，固定之前可用小刀在笔芯上刻出一道痕，这样能更牢固，见图26。皮带轮既作车轮又作传动轮，一举两得。

两个后轮都搞定以后就需要制作前面的万向轮了。把你拆下来压带轮的滚轮取下来只剩下底座，用电钻或是钉子在底座上打一个洞，见图27，然后用一个小螺丝穿过，拧上丝帽，套上一段笔芯，看笔芯在我们这里的

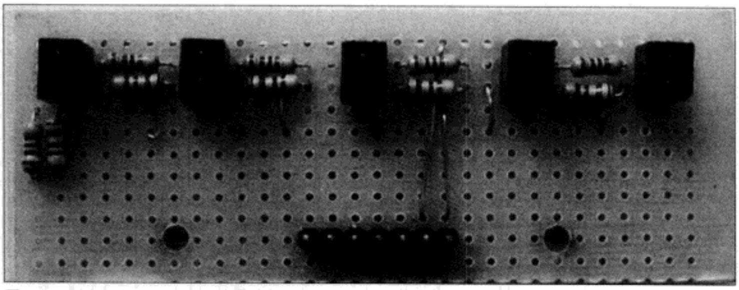


图21

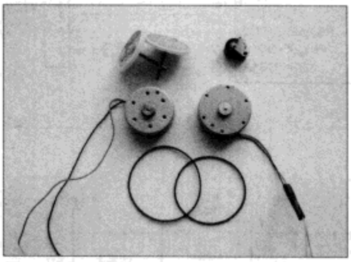


图22

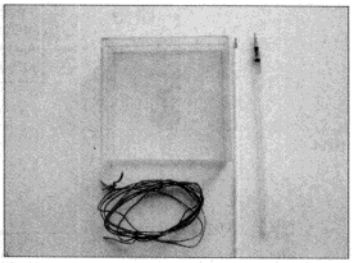


图23

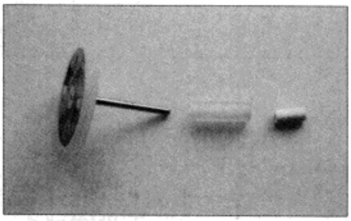


图24

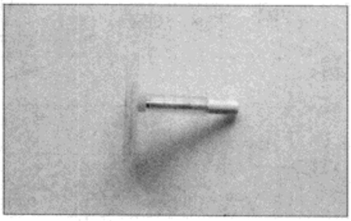


图25

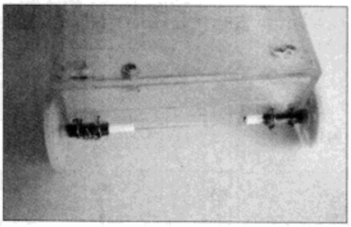


图26

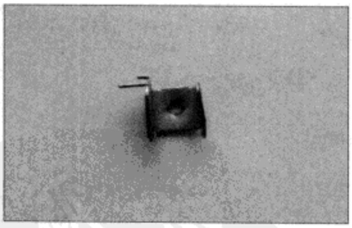


图27

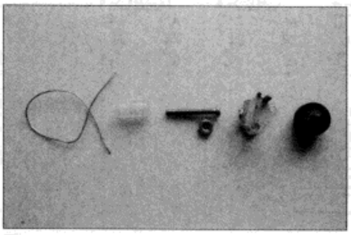


图28

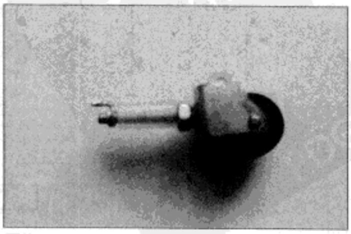


图29

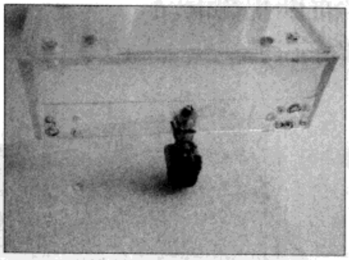


图30

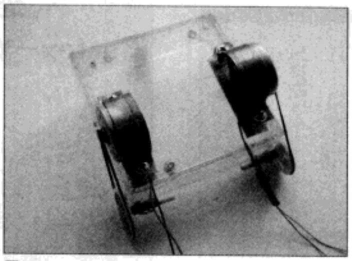


图31

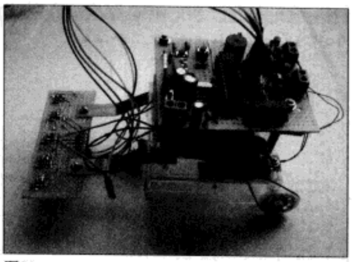


图32

用处多大呀，废物用到了正确的地方便能化腐朽为神奇。螺丝另一端用细铁丝固定以防止笔芯脱落，装好以后要保证笔芯能自由旋转，相当于轴承使用。过程见图28、29。

把做好的万向轮安装到车身前面，跟刚才一样竖着固定，见图 30，这样一部三轮车就做出来了，别说是自动寻迹了，现在就是推一推都很有成就感吧。加上电机，固定好，套上皮带，见图 31，电机中间的空挡位置可以放电池。你可能会问我们加工出的零件都很不规则，电机带动皮带时会“掉带”么？只要你把电机传动轮和皮带轮在竖直方向上保持一致，即便我们的机构不是很规则也不会掉带，因为轮子转动起来以后转动偏差方向是一个时时调整的过程，不会一直朝一个方向偏，所以不容易“掉带”。

机械部分和控制电路组装上去之后，把传感器固定到车上，接上导线。用两个立柱把控制电路固定在小车正上方。下面放电池，电池用5节5号电池。连接上电源导线和电机导线，见图32。

现在你可以休息一下了，不管调试有没有通过，我知道要完成这一切都不是一件轻松的事，但是喜欢电子制作，爱好DIY的话，我们乐在其中。

如果你说你没有这些材料和工具，很难完成这个小车怎么办？放心吧，我不会让你白看我的文章的，你可到《无线电》网站上下载与本文相关的文件，在智能车 / 仿真这个文件夹里我做了一个 proteus 仿真电路，名字叫做智能车仿真，见图 33。Proteus 是一款很不错的仿真软件，操作简单，仿真效果非常直观，不过关于 proteus 的使用方法我就不在这里啰嗦了，你上网下载一个软件和一个教程，一看也就明白了。

图33中右下角的5个可变电阻是用来模拟红外传感器的，在白色路面上时输出低电平，改变电位器使AD端口电位升高相当于检测到黑线，这时你会发现对应的LED被点亮，并且两个电动机开始慢慢启动。

调节电位器使它们分别位于高电平，看一下LED的状态，和电机转速的变化。改变一下拨码开关的状态看电机转速出现了什么变化。具体的原理我在程序中作了详细的注释。

最后来讲讲编程吧。AVR的开发环境有很多种，如AVR Studio 、ICCAVR、IAR AVR等。这里我们使用ICCAVR，这个软件使用方便而且资料很多。关于ICCAVR如何使用和一些技巧，也请你自己查资料吧，我在这里占用的篇幅已经够多了。下载一个ICCAVR开发环境，安装过程也没什么特别的，按部就班就行了。安装完之后打开软件，点project按钮，点open，选中智能车/程序/小车/zhinengche.prj文件。打开它，右边工作栏内会出现一个工程项目，打开工程项目中的zhinengche.c文件。你就会看到窗口中出现了源程序，见图34。你可以浏览、修改程序，程序中我尽量详细地做了注释。当你修改完程序以后点工

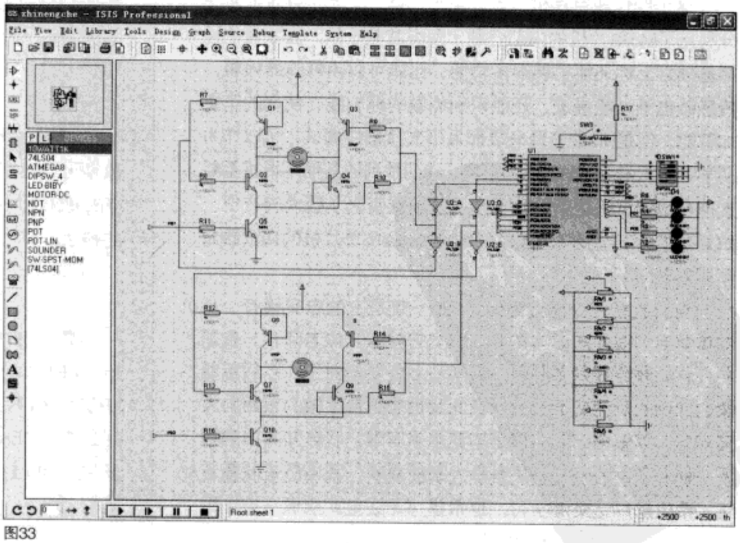


图33

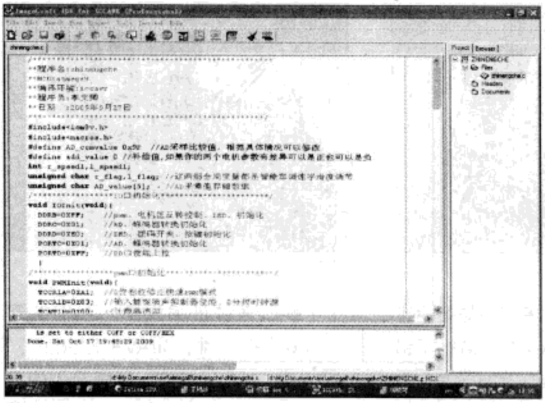


图34

具栏上的那个红色的按钮或是使用shift+F9快捷键编译工程，然后看看下面有没有错误提示，没有错误编译通过的话就会生成新的hex文件。在ponyprog打开智能车/程序//小车中的zhinengche.hex文件，下载到单片机中，或是用proteus仿真。

程序写到单片机里以后，可以把它放在你做好的跑道上，打开开关看4个LED是否能够指示传感器检测到黑线（5个传感器中中间那个传感器，没有LED指示，其余的4个各有一个LED与之对应），如果电机反转，只用把电机的正负极反接就行了。由于我们制作的小车各方面参数不一样，因此你可能还需要在程序里做调整修改，比如速度值、差速值、传感器判断比较的参考值，但是只要原理弄对了，剩下的工作也就好做了。在智能车/视频文件夹中我还放了一个视频，是我的智能车跑的一段，我用手机拍下来了。

这个制作题目集机、光、电于一体，不光是好玩而且充分利用了M8单片机的内部资源，使得寓教于乐。在我做的程序基础之上你还能扩展很多功能，比如可以用蜂鸣器报警，传感器也不光能寻迹，还能识别你做的标志线，使你的车更加智能。但是M8的资源有限而且不支持在线调试，可以作为初学者认识学习AVR的入门工具。AVR系列的其他高端机都能支持在线调试，这就给我们学习和编程带来了极大的方便，如果有机会下次我将为大家介绍ATmega16单片机的调试器制作与使用。

自从我初识《无线电》3年来一直是它的忠实读者。从中我学到了很多知识与技巧，感觉它就像一位老师、一位朋友，总能教给我好多东西。大学马上就要毕业了，以后可能像这样玩的机会就不多了，在此我也想把自己做的东西向大家分享，以做个纪念。但是毕竟水平有限，我自知其中的粗陋，献丑了，呵呵。如果有幸大家能喜欢，我当然是欣喜若狂，希望能广泛交流学习，也希望《无线电》能像一把火炬一样引领我们这些电子爱好者一直走下去。

◎资料室

恩智浦推出低成本Cortex-M0微控制器——LPC1100

恩智浦半导体公司(NXP Semiconductors)2009年11月16日宣布，旗下基于ARM®CortexTM-M0的LPC1100微控制器系列产品将于12月分销上市。恩智浦LPC1100针对8/16位应用，是市场上定价最低的32位微控制器解决方案，其价值和易用性比现有的8/16位微控制器更胜一筹。该控制器性能卓越、简单易用、功耗低，更重要的是，它能显著降低所有8/16位应用的代码长度。初期面市的LPC1100系列有15种产品，能满足所有那些寻求用可扩展ARM架构来进行整个产品开发过程的8/16位用户，满足其产品开发无缝整合需求。

性能卓越

LPC1100每秒4500多万条指令的傲人性能让8位（每秒不到100万条指令）及16位（每秒300万到500万条指令）微控制器相形见绌；LPC1100不仅能执行基本的控制任务，进行繁复的运算，即便最复杂的任务也能轻松应付。执行效率的提高直接转化为能耗的降低。实现该性能水平的LPC1100频率为50MHz，其功耗也得到了很大程度的优化——仅需不到10mA的电流。

代码长度降低

利用业界标准的CoreMark基准可以清楚看出，在多数常见微控制器任务中，LPC1100的代码需求量降低了40%到50%，彻底打破了“8/16位微控制器代码一定少”的神话。

上市时间

恩智浦 LPC1100 系列将于 2009 年 12 月上旬面市。LPC1111FHN33/101、LPC1112FHN33/101、LPC1113FHN33/201、LPC1114FHN33/201 的闪存大小分别是 8K、16K、24K 和 32K。此外，采用 48 引脚 LPQFP 及 PLCC44 封装工艺的产品也将上市，以满足插座应用的需求。

模块应用实例

◎唐继贤（BD9AH）

用FM收音模块制作可显示频率的收音机

在无线电音频广播系统中，FM调频广播系统以其良好的音质和接收效果，同时兼容立体声方式，因而在公众无线电广播领域得到了广泛的应用。多数国家FM调频广播的频段在88～108MHz的甚高频波段，由于它的工作频率较高，相应的接收设备的有关器件的物理尺寸也小，容易实现小型化和集成化。世界上许多半导体公司都推出了单芯片的FM收音集成电路，早期的FM收音芯片（如飞利浦公司生产的TDA7088T），具有基本的自动搜索电台功能。采用两只按钮，一只用来搜索电台，一只复位，使用很方便，但功能简单，适用于简易的收音机。近年来生产的FM收音芯片都是可编程的，功能十分强大，可制作具有自动搜索电台、存储以及频率显示的高级收音机，例如飞利浦公司的TEA576x系列，Silicon Laboratories Inc.的 Si470x FM 调谐器系列，日本三洋的LV24000/02等，这些芯片外部只需增加很少的几个器件甚至只要一只滤波电容就可以做成一个完整的FM收音模块，目前最小的调频收音模块的体积仅有9mm×9mm×2mm这么小。但是这种收音模块一般需要用单片机来编程才能实现它的功能。现在许多由单片机控制的数码电子产品（比如手机、MP3等）就是使用这种收音模块，实现FM调频收音功能的。这里给读者介绍一个使用51单片机控制FM收音模块制作的FM收音机，收音模块的型号是FM410B，模块是用飞利浦公司的TEA5767HN芯片制作的。图1为制作好的收音机电路的实物照片。

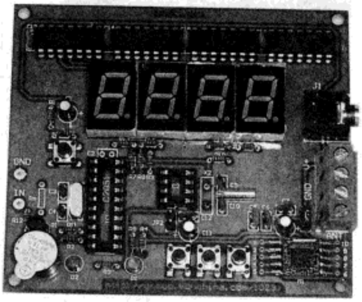


图1 FM收音电路实物照片

TIPS

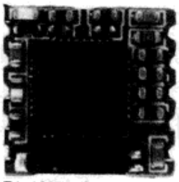
FM收音模块一览

FM收音机模块广泛应用于消费类电子视听产品、家用电器中，如MP3播放器，MD、CD播放器，便携VCD/DVD，手机，PDA，电子词典，数字冰箱等。

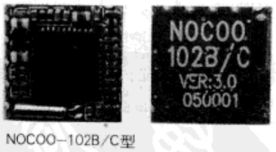
FM收音机模块常采用飞利浦公司的 TEA5767 专用芯片或者与之兼容的SP3757芯片，并采用高精度绕线电感，特殊天线加感技术，从而保证了模块的高灵敏度和高稳定性。频率范围从76～108 MHz 自动数字调谐，低噪声、低功耗，体积很小。现在有很多公司都在生产，主要集中在深圳，型号很多，但是功能基本相同，只是外形尺寸和引脚有所不同。

目前市面上比较多的是10引脚的102BC和FM_410B型。这些模块大部分采用的是飞利浦公司原装的的 TEA5767专用芯片，例如TJ-102BC型，NOCOO-102B/C型、FM_410B等。

另外也有采用与TEA5767兼容的SP3757芯片，如PL_102BC、FL-125等。



TJ-102BC型



NOCOO-102B/C型

FM_410B

PL_102BC型

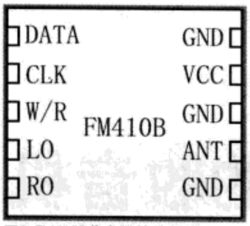


图2 FM410B收音模块的引脚图

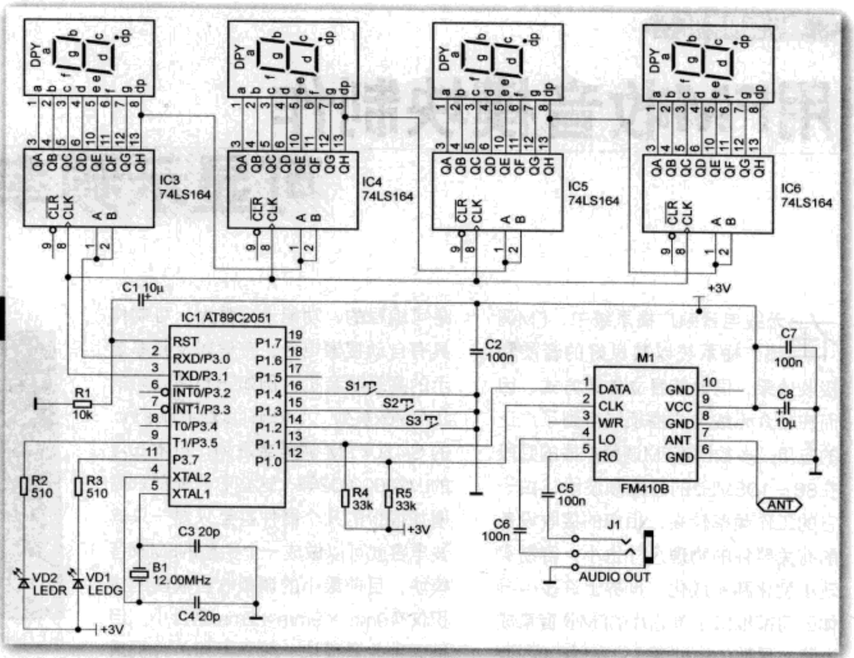


图3 FM收音机电原理图

FM410B收音模块

很多厂商都推出了用TEA5767制作的FM收音模块，这种模块采用微型贴片元件，体积很小，最小的只有10mm×10mm，供用户嵌入在自己的数码产品中。电路采用飞利浦推荐的典型应用电路，外围没有任何需要调整的元件，使用非常方便。目前带有FM收音功能的数码产品（像手机、MP3等）内部基本上都是使用这种模块，本机中使用的模块型号为FM410B，另外也可以用型号为PL102BC的模块来代用，只是引脚位置不同，其中所用的芯片也不是TEA5767，但与其兼容。

这种模块只把TEA5767常用的几个引脚引出来，不同型号的模块引出端也不完全相同。除了正负电源、天线和左右声道音频输出是必须引出的端子以外，根据控制方式的不同，芯片控制和总线接口电路的端子会有不同的选择。对于使用3-wire总线方式的模块来说，3根信号线DATA、CLK和W/R都必须有，但是I^2C总线就不需要W/R线。FM410B模块的引脚接线如图2所示，两种总线方式它都可以使用。

硬件电路

FM收音机采用了廉价的AT89C2051单片机作为控制主机，电路原理见图3。按钮S1用于控制电台自动搜索，按下S1按钮后，程序就从波段的低端88MHz开始搜索，一旦发现在某个位置收到的信号强度达到了TEA5767芯片搜索控制字中所设定的电平值，搜索就停止在该位置。如果此频点有电台，立即就能听到电台的播音。再按一下按钮，程序就会接着往上搜索，当搜索到波段的尽头时，红色LED灯会亮。这时再按搜索按钮，程序就会自动反转方向从最高端往下搜索，同样的一直搜索到波段的低端时也会自动停下来，红色LED灯亮，表明已搜到波段低端。这时再按搜索按钮，又会翻转方向搜索，周而复始。根据你设定的电平不同，能搜索到的电台的多少也不相同。搜索到的电台频率在4位LED数码管上显示，显示的格式为：XXX.X，单位是MHz。该电路没有设计音频功放，而是借助常用的电脑有源音箱来放音。音频通过J1音频输出插孔连接到电脑有源音箱的输入端即可。另外模块的天线端要连接一根约1m长的天线才能收到电台信号。

附表 参考频率

XTAL	PLL REF	参考频率	振荡频率
0	0	5000Hz	13MHz
0	1	5000Hz	6.5MHz
1	0	32768Hz	32.768kHz
1	1	32768Hz	32.768kHz

单片机编程要点

单片机的程序就是按照上面所述的功能编写的，概括起来有以下3点：

◆根据已知电台频率，换算出PLL控制字，写入TEA5767，直接接收该电台信号。

◆设定搜索信号停止电平和搜索方向，写入控制字自动搜索未知电台。

◆读出接收到的电台频率PLL控制

字，换算成实际电台频率在LED数码管上显示。

读者也可以根据电路中的硬件编写自己的应用程序。这3个功能中最主要也是最基本的是第一点，根据已知电台频率，换算出PLL控制字并写入TEA5767，直接接收该电台信号。下面简单介绍一下该功能的计算和编程方法。

PLL控制字计算方法

如果我们已经知道一个调频广播电台的频率，就可以把这个频率值写入TEA5767，让调谐系统直接调谐到这个频率位置，接收这个台的信号。频率值是通过控制字的第1、2个字节写入的，第一个字节的BIT5～BIT0共6位加上第二个字节的8位，一共14位的二进制数组成了内部PLL合成器的控制字（PLL word），电台的频率值需经过公式计算才能得到这个二进制数。

在给出计算公式之前，我们先要了解一下高本振注入（HIGH side LO injection）和低本振注入（LOW side LO injection）的概念。

我们知道，在FM接收机内有一个本机振荡器，它的作用是与接收到的外来信号通过混频器产生中频信号f_i。当接收到的信号频率f_s确定后，有两个本机振荡频率都可以满足产生固定中频的要求，即本振频率高出一个中频，或者本振频率低于一个中频，若本振频率高于一个中频，我们称之为高本振注入f_H。这时：

中频f_i＝高本振f_H－信号f_s

若本振频率低于一个中频，称之为低本振注入f_I。这时：

中频f_i＝信号f_s－低本振f_I

写入TEA5767控制寄存器的第3个字节的BIT4位HLSI就是用来设定高、低本振的。当HLSI=1时，为高本振，当HLSI=0时，为低本振。

PLL控制字可由下列公式计算：

$$N_{DEC}=\frac{4\times(F_{RF}\pm F_{if})}{F_{REFS}}$$

当采用高本振（HILO＝1）时，上面公式分子中括号内的两个值相加，当采用低本振（HILO＝0）时，公式分子中括号内的两个值相减。公式中字符的意义如下：

N_{DEC}＝PLL word的十进制值（公式算出的值是十进制值，还需要转换成二进制值）

F_{RF}＝想要接收的电台频率（Hz）

F_{if}＝中频频率（Hz）

F_{REFS}＝参考频率（Hz）

TEA5767的中频F_{if}固定为225kHz，参考频率F_{REFS}与使用的晶体振荡器有关，具体数值见附表。

附表中的XTAL是控制字的第4个字节的BIT4位，PLL REF是读出的第5个字节的BIT7位。用来计算PLL控制字的C语言程序请到本刊网站下载。

全国青少年无线电通信锦标赛 青少年电子制作锦标赛开赛在即

2009年全国青少年无线电通信锦标赛将于7月23至28日在江苏省镇江市举行。青少年电子制作锦标赛将于8月19日至25日在浙江省杭州市举办。这两项比赛都是由国家体育总局等五家单位主办、中国无线电运动协会承办的普及型科技体育项目。

截至6月16日初步统计，预报名参加本届青少年无线电通信锦标赛的人数已超过600人，较2008年增加约150人，预计在二次报名之后，参与活动总人数将接近800人。

首届青少年无线电通信锦标赛于1994年举办，每年一届，今年已是第15届。竞赛以激发青少年兴趣爱好、学习无线电通信知识、培养无线电人才为宗旨。经过多年发展，无线电通信竞赛项目向着更贴近实用、寓教于乐方向发展。对讲机通信竞赛项目则更是具有鲜明特色，深受各参赛单位欢迎。

电子制作历史上也称为电子工程制作，有着深厚的群众基础。由中国无线电运动协会承办的该项竞赛于1998年举办首届，项目主要针对青少年开展，利用电子百拼套材进行电子电路学习，项目开展安全，深受各地学校、教师欢迎。同时百拼电路可重复使用，电路组合千变万化，奇趣无穷，有利于培养青少年兴趣。近年来，电子制作项目参赛人数逐年平稳增加，2008年参赛队员近700人。项目的特色成为吸引青少年参与的重要原因。

往年比赛照片

2009年的这两项竞赛将在往年的良好基础上，强化各环节监督、检查工作，严格评选程序，保证项目健康、有序、平稳发展，同时利用技术手段确保竞赛公正、公平。《无线电》杂志作为协办单位，将对两项比赛进行及时报道。 （本刊通迅员）

灵敏度可调的便携酒精探测器

◎陈天宇

编前语：笔者在网上了解到，有个网友在 iPhone 手机上安装了一个酒精传感器，再配合自制的电路和软件，把手机变成了一个“酒精探测器”，类似交警使用的那种仪器。使用者只要对这个加装了酒精探测电路的手机吹气，它便能检测出你是否过度喝酒。网上还有这款改装手机的使用视频，在 jandan.net/2008/11/25/duiphone.html，很有趣。

去年，意大利 GPS 制造商 Avmap 与标致汽车制造商联合发布了新的车载 PND “Geosat 6 Drive Safe”，这款新导航仪之所以叫做 Drive Safe，是因为它内部集成了酒精测试仪，以检测出醉酒驾车的司机。它可以通过导航仪上部的出风口探测你的饮酒量，判断你是否还能继续驾车。

看来，酒精检测仪不再只是交警执法检查的工具，它已经逐渐步入了我们的普通电子消费领域。

笔者参与一个省自然科学基金项目，其中一部分需要用到酒精传感器，本来是为了调试酒精传感器而设计的电路，制作完成后发现，这也是一个适合爱好者自制的便携、准确、低功耗的酒精探测器，特介绍给大家。

酒精探测器电路原理

笔者选用的酒精传感器的型号为 NAP-66，据笔者所知，这个传感器在高精度的酒精探测器中用得比较多，它能够准确地测量出酒精的浓度，比半导体气敏传感器灵敏度高，因为半导体气敏传感器的输出是非线性的，而且受温度和湿度影响较大。

酒精探测器电路如图 1 所示，在电路的前端是由传感器气敏材料 “D”，温度补偿电阻 “C”，精密电阻 R1、R3 和多圈可调电阻 R7 组成的一个直流电桥，R7 为调零电阻。当空气中不含有酒精时电桥输出为 0。若空气中含有酒精，“D” 的电阻发生改变，这样电桥的平衡就被打破，电桥的输出电压随之发生变化。因为酒精传感器的正常工作电压是 1.8V，而且要求电压波动比较小，因此笔者选用了低压差电压调节器 (LDO)AS1117 为传感器提供工作电压，AS1117 具有电流限制和保护功能，而且它的线性调整率最大为 0.2%，能够很好地保护传感器并为传感器提供精确而恒定的工作电压。电解电容 C2 是滤波电容，可减少电压波动。

直流电桥输出的微弱电压信号进入电路中的低噪声放大电路进行放大。这个低噪声放大电路是一个由低噪声高精度运算放大器OP07、精密电阻R4和R2组成的直流反相放大器，放大倍数为$R4/R2$=100。之所以采用反相放大器，是因为反相放大器并没有把共模信号也一同放大，这样输出就不会受共模信号的影响。

信号被低噪声放大器放大后，再经过由R5和C1组成的RC低通滤波器，把高频的干扰谐波滤除，进入LM3914 的输入端。

LM3914 是 10 位发光二极管驱动器，它可以把前级输入的与空气中酒精浓度成正比的模拟量转换为数字量输出，并驱动 10 位发光二极管进行点显示或柱显示（通过开关 S2 可以选择不同方式），这样我们就可以根据发光二极管的点亮情况来判断酒精的浓度了。由厂家给出 LM3914 的内部电路可以知道，在其输入端内部接有一个电压跟随器，作缓冲之用，所以在外部电路上不需要接上缓冲级，可以把需要测量的模拟信号直接接入芯片的 5 脚。6 脚和 4 脚分别是芯片高低电平的参考电压，芯片内部通过 10 个分压电阻，把参考电压 10 等分，然后分别连入比较器的正向输入端，而负向输入端就与输入信号连接，然后比较器就能根据比较后的结果驱动相应的二极管。因此，要使探测器的灵敏度可调，就要改变参考电压。于是笔者在电路中就设计了 R8 和 R9，用于调节参考电压。

电路安装与调试

电路安装好即可以进行调试，不过在设计电路时要注意AS1117芯片的散热，若用热转印的方法，可以在芯片底下敷铜，通过大面积的敷铜使积聚在芯片的热量迅速散去。如果你使用的是万用板，就要为芯片加上散热片了。

电路检查完毕就可以上电了，给

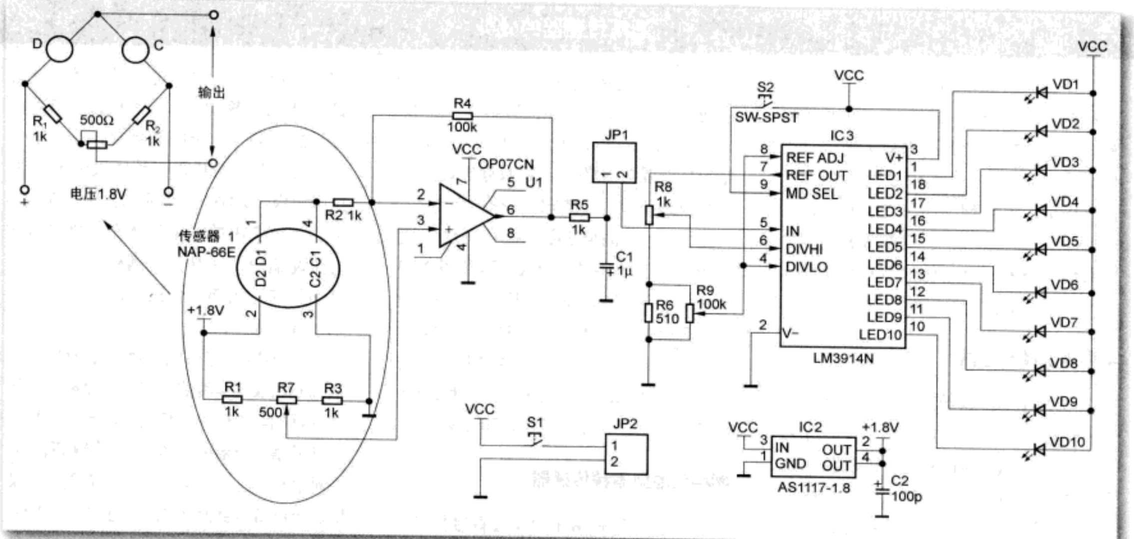


图1 酒精探测器电路

附表 中国部分地区呼气酒精浓度标准

省（直辖市）	酒后驾驶标准（ppm）	酒醉驾驶标准（ppm）
上海	480	1600
浙江	320	1600
四川	480	1600
重庆	160	1600

JP2 加上 6V 的电源，也可以用 4 个 5 号电池作为探测器的电源。这时先不要为 JP1 加上跳线帽，闭合电源开关 S1 为前端加电。此时用万用表测量 OP07 的差分输入端 2 脚和 3 脚之间的电压，若电压不为 0，则调节可调电阻 R7，使 2 脚和 3 脚的电压为 0。但是由于运算放大器有失调电压的存在，运放的输出不可能为 0。而这个酒精传感器的灵敏度要求比较高，微小的电压偏差都会造成很大的误差，因此要在后级的显示电路中补偿运算放大器的失调电压。具体做法是，用万用表测量跳线靠近前级的那端到地的电压，然后再测量 LM3914 第 4 脚的电压。若它们不相等，则调节 R9，使他们相等，这样就能调节 LM3914 的参考电压，使其与放大器的失调电压相抵消。经过以上的步骤我们的酒精探测器就基本调试完毕，最后要调节的是测量的量程和灵敏度。

这里要用到一个简单的传感器输出电压与酒精浓度关系的公式：$C=184.4\times U$（其中C是酒精浓度，单位是ppm，U是传感器输出电压，单位是mV）。因为传感器输出的信号

TIPS NAP-66传感器介绍

NAP-66是日本NEMOTO公司生产的新型催化剂接触燃烧式酒精传感器，它的基本原理是：气敏材料在通电状态下，可燃性气体氧化燃烧或在催化剂作用下氧化燃烧，产生的热量使电热丝升温，从而使其电阻值发生变化，测量电阻的变化就能够测量出气体的浓度。这个传感器能够被很好地应用于低功耗、手持且电池供电的酒精探测器。它有一个非常大的优点——初始化时间十分短。相对于常用的半导体酒精传感器，这种新型的酒精传感器会更加精确并具有重复性，所以用它来设计便携式的酒精传感器将会非常可靠。

它的外形见图 A，顶部钢网下面的就是气敏材料，含有酒精的气体通过这个钢网进入传感器内部，与里面的气敏材料发生反应，从而改变传感器的输出电阻。

NAP-66酒精传感器共有4只脚（见图B），有个“D”标记的2只脚内部是接气敏材料，另外两只是接温度补偿电阻。用万用表测量它们的电阻分别都是2.6Ω。“D”两端的电阻值在工作时会随着酒精浓度的增加而增加，但是因为气敏材料是金属导体，在工作时通过的电流会使它发热，因此电阻率会随温度升高而增大，为了使传感器有更好的线性度和准确的输出特性，所以就需要使用“C”，它是“D”的温度补偿电阻，把它与“D”相连起来就可以抵消由于温度所造成电阻率的变化。

其工作特性如下：

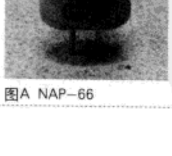
检测气体：乙醇 检测浓度范围：0~3.2%(0.05%~2.0%)

外加电压：DC1.8±0.1V

消耗电流：140 ~ 160mA（1.8V 供电时）

周围温度：使用时 -10 ~+50℃

周围湿度：使用时 99%RH以下



图A NAP-66

图B 引脚图

酒精传感器的分类

TIPS

可以对气体中酒精含量进行检测的设备有5种基本类型，分别是：催化剂接触燃烧式酒精传感器或燃料电池型（电化学），半导体型，红外线型，气体色谱分析型，比色型。由于价格和使用方便程度等因素所决定，目前普遍使用的只有燃料电池型（电化学型）和半导体型和催化式接触燃烧式酒精传感器。

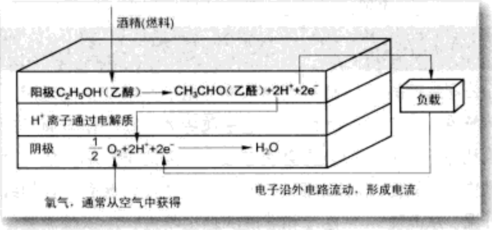
半导体酒精传感器

半导体型传感器采用氧化锡半导体作为传感器，这类半导体器件具有气敏特性，当接触的气体中敏感的气体浓度增加，它对外呈现的电阻值就降低。半导体型呼气酒精测试仪就是利用这个原理做成的。这种半导体在不同工作温度时，对不同的气体敏感程度是不同的，因此半导体型呼气酒精测试仪中都采用加热元件，把传感器加热到一定的温度，在该温度下，该传感器对酒精具有最高的敏感度。例如：HS-3A，该敏感元件由纳米级二氧化硅及适当掺杂混合剂烧结而成，具微珠式结构，应用电路简单，可将电阻变化转换为一个输出信号，与酒精浓度相对应。HS-3A 型传感器对空气中的低浓度酒精有极高的灵敏度。采用微处理程序及专门软件来处理传感器的控制信号。该器件广泛应用于呼出酒精测试仪。特点：无需加热、功耗极低、检测范围广、灵敏度高、反应快、寿命长、价格低、应用电路简单、体积小。

燃料电池型酒精传感器

燃料电池利用化学反应直接把其内部的可燃气体转变成电能输出，在其两个电极上产生电压输出。

燃料电池酒精传感器是燃料电池的一个分支，附图为其电化学的原理图，该燃料电池为质子交换膜燃料电池，在低温的使用条件下，电解质一般为固体聚合物。一般使用杜邦公司的Nafion膜作为电解质，因为它具有良好的化学耐受性和良好的机械性，可制成非常薄的膜，能保证H+的自由移动，且具有酸性，满足酸性反应的要求。电极与催化剂合成在一起，它们与电解质采用整体膜/电解法制成膜电极合体MEA。电极与催化剂仅能使进入燃烧室内的酒精气体充分燃烧转变为电能输出，对其他非酒精气体不产生任何反应，因而它们对输出没有任何影响，抗干扰性高。



与半导体型相比，燃料电池型呼气酒精测试仪具有稳定性好、精度高、抗干扰性好的明显优点。但遗憾的是由于燃料电池酒精传感器的结构要求非常精密，制造难度相当大，目前世界上只有美国、英国、德国等少数几个国家能够生产。因其材料成本高（相当于半导体酒精传感器的几十倍），所以价格比较昂贵，导致燃料电池型酒精测试仪的价格是半导体型酒精测试仪好几倍的事实。

催化剂接触燃烧式酒精传感器

气敏材料在通电状态下，可燃性气体氧化燃烧或在催化剂作用下氧化燃烧，产生的热量使电热丝升温，从而使其电阻值发生变化，测量电阻的变化从而就能够测量出气体的浓度。

经过低噪声放大器放大了100倍，因此输入到LM3914显示的模拟信号电压$U1=100U$、所以最终的公式为：$C=1.844\times U1$（其中C是酒精浓度，单位是ppm，U是放大后输出电压，单位是mV）。附表就是我国几个省（直辖市）对人呼出呼气酒精浓度标准。

我以上海标准为例，讲述如何调节酒精探测器的量程和浓度。由上海市的酒醉驾驶标准1600ppm的浓度根据$C=1.844\times U1$可以算出$U1$=867.6mV，所以酒精探测器的量程应设为867.6mV。现在把万用表的黑表笔接到LM3914的第4脚，红表笔接到第6脚，调节可变电阻R8，使电压为867.6mV。这样当酒精探测器的二极管全部点亮时，说明接受测试的人已经是酒醉驾驶了。那现在酒精探测器的分辨率就是$U1/10$=86.76mV，我们又可以根据酒后驾驶标准480ppm算出对应的电压是260.3mV，所以当点亮的二极管超过3个，说明测试的人是酒后驾驶了。在安装二极管时可以前3个安装绿色的二极管，后面的是红色二极管，这样会更加有提醒作用。最后给JP1接上跳线帽，这时全部的二极管应该是熄灭的。然后可以向传感器吹一些酒精气体，如果看到二极管逐渐被点亮，说明电路工作正常。

笔者做出来的成品电路板见图3。

此酒精探测器便携、低功耗、精确，灵敏度可根据实际情况调节，而且电路简单，电路连接后只需简单调试即可投入工作，十分适合各位电子爱好者制作。

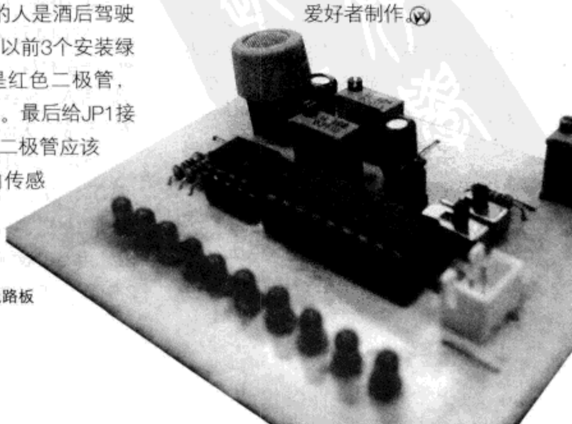


图3 成品电路板

实用的晶体管在线测试仪电路

◎张全威

这是一款实用的晶体管在线测试仪电路，笔者使用后发现在线判断准确率高，故将其电路介绍出来，供大家学习和自制。

完整的原理图见图1，主要元件是一块四运算放大器/比较器LM324，S1为电源开关，S2为双刀三位开关，用于切换该在线测试仪的“方波/三极管/二极管”功能，端口Probe_C、Probe_B、Probe_E为测试晶体管时的鳄鱼夹，测试时夹在相应的电极上。

IC1A、R1、R8、C2//C1构成多谐振荡器，当S2位于方波挡时，该电路可以从D点输出13.8kHz/7.5V的方波信号。当S2位于二极管和三极管挡位时，由于C1的并入，振荡器的频率降为14.5Hz。IC1B负输入端接在C点上，正输入端接B点，由于B端电位始终为高电位，故此电路的作用是将C点的电位反相。IC1C、IC1D构成输出和判断电路，下面我们详细分析一下该电路的工作情况。

一 当S2置于方波挡时

当电路开始通电时，由于电容C2两端电位为零，比较器IC1A的负输入端电位低于正输入端（B点3V）。比较器在C点输出高电平（7.5V）。该高电平一方面经电阻R1向C2充电，形成锯齿波的上升沿，同时通过R8将B点电位拉高为5.5V。随着充电的继续，A点电位逐渐升高，当该电位高于B点电位时，比较器翻转，C点输出低电平。该低电位一方面使得C2通过R1向C点放电，形成锯齿波的下降沿，同时将B点的电位通过R8拉低至3V。随着放电的继续，A点电位逐渐降低，当该电位低于B点电位时，比较器再一次翻转输出高电平，电路重复前面的过程，周而复始形成振荡。在A点形成了峰值为5.5V，谷值为3V的锯齿波，B点则为峰值为5.5V，谷值为3V的方波，C点为峰值7.5V，谷值为0V的方波。该振荡器的振荡频率为13.8kHz。

比较器IC1B将C点电位和B点进行比较输出，其实际效果就是将C点的电位反相后由G点输出，这样无论何时，D点的电位总是和G点电位相反，经R5、R13分别加到IC1C和IC1D的输入端，当D点为高电位（7.3V）时，G点必为0V，则IC1C的正输入端电位高于负输入端，I点输出高电平，而IC1D的正输入端电位（0V）低于负输入端，J点输出低电位（0V），此时VD2点亮。

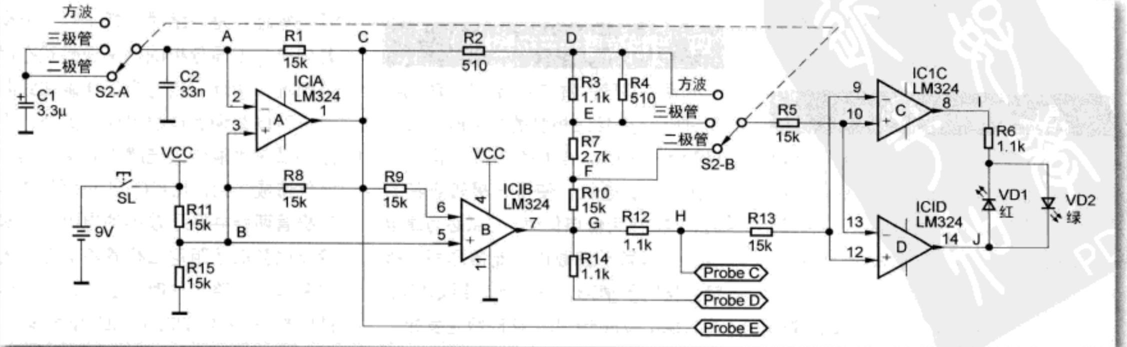


图1 晶体管在线测试仪原理图

反之当G点高电位D点低电位时，I点输出低电位，J点输出高电位，VD1点亮。由于VD1、VD2交替点亮的速度非常快，所以看起来两盏灯是常亮的，方波信号可以从I点取出，图2所示为当开关置于方波挡时各点的波形。

当开关置于二极管和三极管挡时，充放电电容并入了一个3.3μF的电容，使得充放电时间常数加长，振荡器频率降低为14.5Hz，下面我们对其工作原理进行分析。

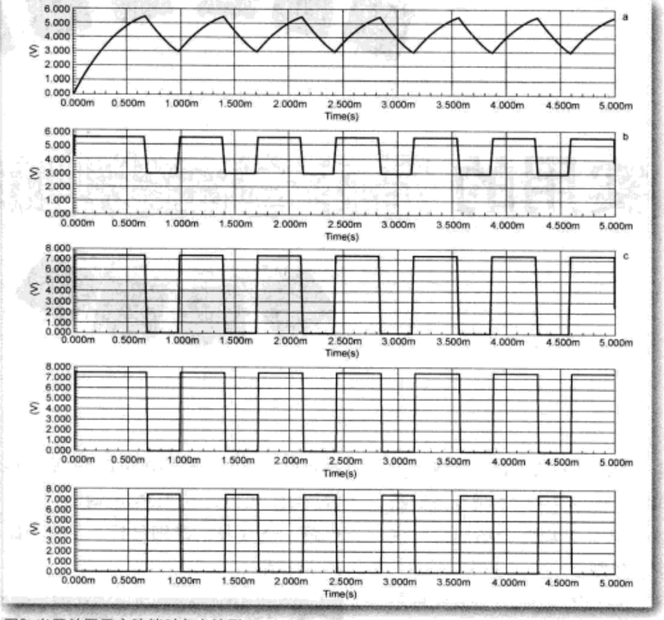


图2 当开关置于方波挡时各点波形

二 当二极管正接时各点的情况

假如我们将二极管的正极接Probe_C、负极接Probe_E、Probe_B悬空时，假设G点为高电位，由于G点和C点反相，则C点必为低电位，此时二极管正偏导通，H点电位被C点经二极管拉低至0.75V，经R13加至比较器IC1C的负输入端和IC1D的正输入端。同时由于G点电位高于D点电位，于是电流由G点经R10、R7、R3//R4、R2流向C点，该电流在F点形成对地为1.4V的分压，该电位加于比较器IC1C的正端和IC1D的负端。于是IC1C的正端电位高于负端，I点输出7.5V高电位，IC1D的正端低于负端，J点输出低电位，绿色发光二极管VD2点亮。

反过来当C点为高电位时，则G点必为低电位时，此时C点电位高于H点，被测二极管反偏截止，C点电流经R2、R3//R4、R7、R10至G点在F点上形成分压（6V），此电压高于H点电压（0V），比较器输出I点依然为高电位，J点为低电位，VD2点亮。

三 当二极管反接时的情况

当Probe_C接二极管的负极、端口Probe_E接二极管的正极、C点输出高电位时，则G点必定为低电位，此时二极管正向导通，电流由C点经二极管、H点、R12流向G点，在H点产生6.8V的电压。另一路电流从C点经R2、R3//R4、R7、R10至G点，在F点上生成6V左右的电压，很显然该电压低于H点6.8V的电压，使得比较器I点输出低电位，J点输出高电平，红色发光二极管VD1点亮。

反过来当C点为低电位时，G点必定为高电位，被测二极管反向截止，H点电位等于G点电位（7.5V）。同时电流从G点经R10、R7、R3//R4、R2流向C点，该电流在F点上的分压为1.4V，远低于H点电位，比较器I点依然为低电位，J点为高电位，红色发光二极管VD1保持常亮。

四 当挡位置于三极管挡时

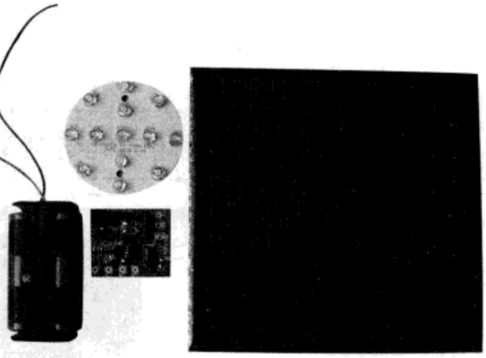
测三极管时端口Probe_C、Probe_B、Probe_E接三极管的各引脚，若三极管为NPN型，当G点为高电位时，C点必为低电位，使得三极管正偏导通。当G点为低电位时，C点必为高电位，三极管反偏截止，此情形同二极管正接时的情形，只是比较器IC1C正输入端电位取自E点，此时绿色发光二极管常亮。

当PNP型的三极管各管脚接相应端口时，当G点为高电位、C点为低电位时，三极管反偏截止，反之三极管导通，此情形同前面二极管反接时的情况，此时红色发光二极管VD1常亮，绿色发光二极管熄灭。当三极管损坏时上述关系遭破坏，VD1和VD2将交替闪亮。

该仪器还可以在线测试晶闸管，测试时的情况类似三极管。综合前面的分析，如果被测元件正常时将只有一个灯点亮，如果被测元件损坏，不管是短路还是开路时，指示灯都将交替闪亮。上面分析的都是理想状态时的情况，实际应用时为了准确在线判断，可以微调各电阻阻值。另外，在线测试时可能会因电路中并接了其他元件造成误判，比如C、E极之间或者二极管两端并联了较小的电阻，三极管反向并联了阻尼二极管等情形。若您制作的电路工作时不正常，可以尝试修改R3、R4、R7、R10的阻值。

绿色照明好帮手
——太阳能灯的制作

◎耿伟　袁芬



笔者为大家介绍一款采用LED发光的太阳能灯。它的工作原理是利用一块太阳能电池板白天吸收阳光，将吸收的光能转化为电能存储在蓄电池中，晚上当需要照明时，利用白天存储的电能就可方便使用，而不需要另用电源。即使在没有阳光的环境中，利用普通的发光源（暖光源）也可以充电。改制后的照明灯具有安全、环保、节能、亮度高、寿命长等优点。特别适合于不方便取电的场所，如野外、校园宿舍等，且携带方便。相信这款改制后的LED太阳能灯会受到广大户外活动人员和学生的欢迎。笔者希望通过这个制作把读者引入到太阳能应用的热点话题上，引发大家对太阳能更多的兴趣。

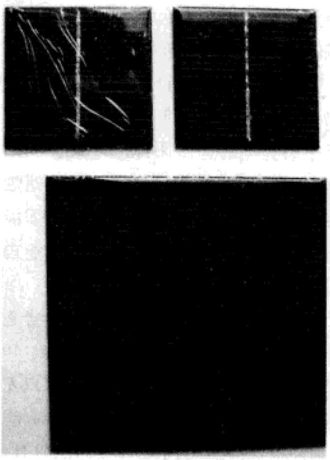


图1 太阳能电池板

这个制作由一个控制电路、一块太阳能电池板、LED灯组成。首先带大家了解一下制作所需的各种材料。

材料选用

1. 太阳能电池板的选择

太阳能电池板材料一般为单晶硅或多晶硅，市面上比较普遍的为多晶硅。根据充电电池的电压和容量来进行太阳能电池板电压、电流的选用，本文选用的是3.5V、400mA的太阳能电池板（见图1）。读者在购买太阳能电池板时还应该注意电池板的其他参数，如太阳能电池板一定要有弱光特性。当光线低于60LUX时，端电压为2.2V或以下；当正午阳光为3万~3.5万LUX时，电压为3.5V左右，电流达到400mA左右。

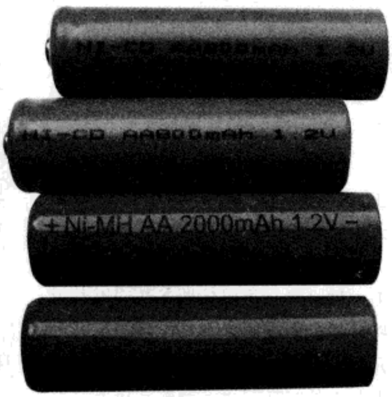


图2 充电电池

2. 充电电池的选择

充电电池选用镍氢环保电池，镍氢电池具有体积小、容量大、符合国家环保标准等优点，在采购电池时应注意：标有Ni-MH的为镍氢电池，标有Ni-CD的为镍镉电池，AA通常指5#电池，AAA通常指7#电池，在设计产品时电池充电电压与太阳能板所产生的电压相匹配即可。在本制作中，笔者选用Ni-MH/AA/2000mAh/1.2V镍氢电池（见图2），因为镍镉电池的容量有限，一般在300~800mAh范围内，而且不是环保电池，充电时带记忆效应，所以我们建议不选用。镍氢AA电池容量在300~2700mAh范围内，符合ROHS产品出口要求。

3. 光源选用

笔者选用LED作为照明的负载。市面上常见的LED颜色一般为：红色、黄色，白色、绿色、蓝色，其中红色和黄色电压一般为1.8~2.2V，电流20mA；白色，绿色，蓝色为3.0~3.3V，电流为20mA。注意，在设计电路时，LED的电流不要超过20mA。

本文实例中笔者选用了12颗LED并联。LED型号如下（见图3）：

(1)直径Φ5mm，钢盔封装直插式；

(2)色温4000~5000K(发冷白光)；

(3)亮度2000~2700MCD。

建议不用草帽封装LED，因为草帽封装LED会产生阴影，影响光源效果。

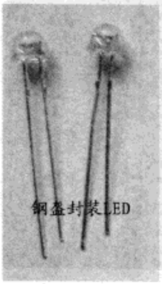


图3 选用LED作光源

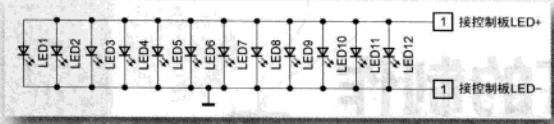


图4 LED电路

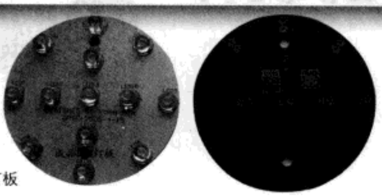


图5 LED灯板

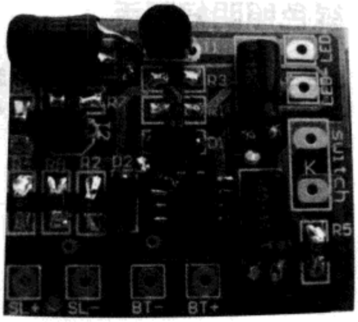


图7 太阳能电池控制电路

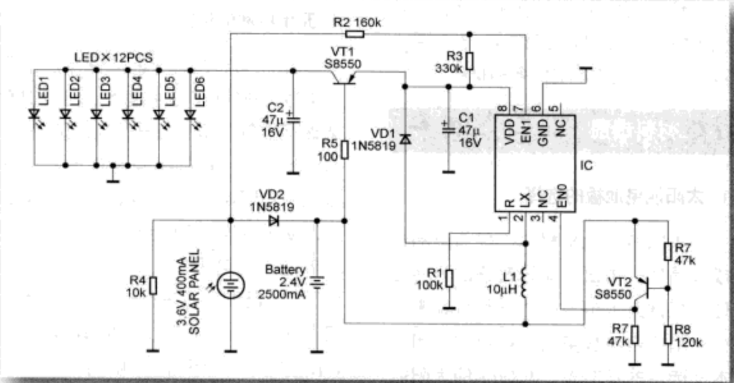


图6 控制电路

图8 可改装到台灯上

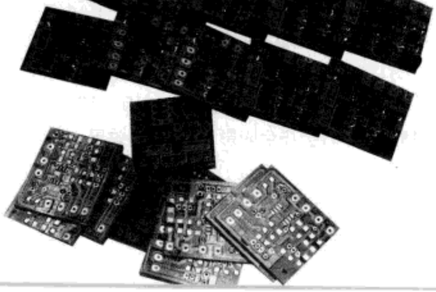
制作电路

笔者先制作了 LED电路，其接线图见图4。

笔者自制的LED灯板如图5所示。

图6是笔者设计的太阳能电池板的控制电路，电路所需元件详细列表及该电路的PCB文件可以到本刊网站下载，该电路的实物图片见图7。

打开电路上的 SWITCH 电源开关后，白天太阳能板受到强光照射线电压变高，IC 端电压也变高，通过 IC 内部处理控制负载断开，此时太阳能板只为电池充电。当傍晚光线低于 60LUX 时，太阳能受光变小，通过 IC 控制停止充电，此时 IC 接通电池对负载放电，一切过程都是自动完成。调整 R1、L1 的大小可以调节电流大小，L1 大，电流小，R1 大，电流大。调整 R8、R7 的比例可以调整电池过放电保护电压，R8 大，过放保护电压大，R8 小，过放保护电压小。



笔者把控制电路、太阳能电池板、LED 灯板装到普通台灯上，即可作很多大学生宿舍的晚间照明之用，见图 8。

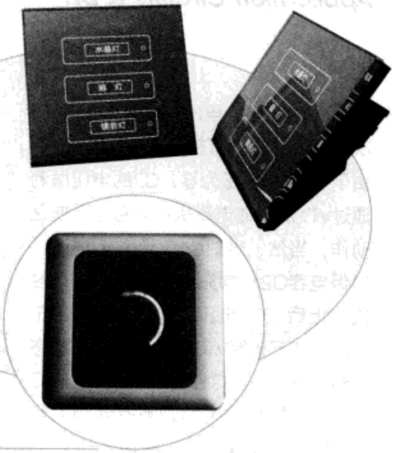
笔者采用的都是贴片设计，对于电子爱好者，可以依照参数将贴片元件替换成便于业余条件下焊接的普通元器件，不过体积肯定会大一些。该电路中的IC是笔者定制的一款芯片，可以实现太阳能弱光检测、恒流/恒压输出、蓄电池过放电检测、升压等功能。如果读者要进行IC替换需要考虑上述功能的实现。因为此电路的设计有笔者一定的专利版权，所以对这个电路设计有兴趣或疑问的读者可以通过编辑部与笔者联系沟通。

读者可以根据此电路，延伸设计出更多的太阳能控制产品，如：太阳能手机充电器、太阳能草坪灯、太阳能路灯、太阳能圣诞灯、太阳能蜡烛灯、太阳能户外玻璃蘑菇灯、太阳能池塘荷花、太阳能手电筒、太阳能自行车尾灯……

（应编辑部要求，本文作者为读者免费提供了 10 套调试好的 PCB 成品板、10 套空 PCB，对此制作有兴趣的读者可以发 Email 到编辑部申请，申请邮箱为 radio@radio.com.cn，截止时间：2009 年 9 月 30 日，申请邮件请注明：太阳能灯控制电路。）

电容式白炽灯触摸开关

◎俞虹



市场上形形色色的触摸开关产品给我们的生活带来了不少方便，笔者在业余条件下，用电子爱好者最容易获取的普通元器件，DIY了一款用于白炽灯控制的非延时触摸开关，有一定的实用意义，介绍给大家。

触摸开关目前主要使用在延时路灯上，而本文介绍的这种触摸开关，可以使用在室内对白炽灯进行开关的控制，有控制轻松，迅速的特点，并且开关等待状态几乎不需要用电。该电路采用单线进出，可以取代原有的机械开关，方便爱好者自己动手改制家中或楼道里的照明线路。

工作原理

在此触摸开关电路中，笔者充分发挥了电存储元件涤纶电容的作用。涤纶电容不但耐压高，容量大，而且漏电流也小。比如220V交流电整流后加到一只4.7μF/400V的涤纶电容上，不与其他元件连接，放置10小时，电压从300V降到250V，由此可见，涤纶电容的漏电流很小。因此，我们可以用它作为开关中的电存储元件。

触摸开关电路主要由4个部分组成。用图1的方框图表示，分别是电容放电控制电路、电容放电条件电路、继电器执行电路和总控制电路。电路如图2所示。下面分别说明它们的工作原理。

1. 电容放电控制电路

电路由场效应管VT1和VT2等元件组成。VT1和VT2分别为耐压不同的场效应管，内部电路中接有二极管和双向稳压管，可避免电压过高造成场效应管损坏。电路中VT1和VT2两个管的组合，可以产生类似高电压非门的作用。当二极管VD7加高电平时，VT2导通。由于VT1的G极和VT2的D极连接，就使得VT1的G极为低电平，VT1截止。这样，就可以阻止电容C2的放电。当VT2的G极为低电平时，VT1导通，C2可以放电，使执行电路动作。二极管VD6用于避免反方向导通，电阻R3阻值较大7.5MΩ，为泄放电阻。

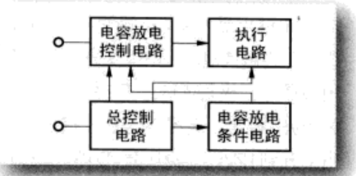


图1 触摸开关电路框图

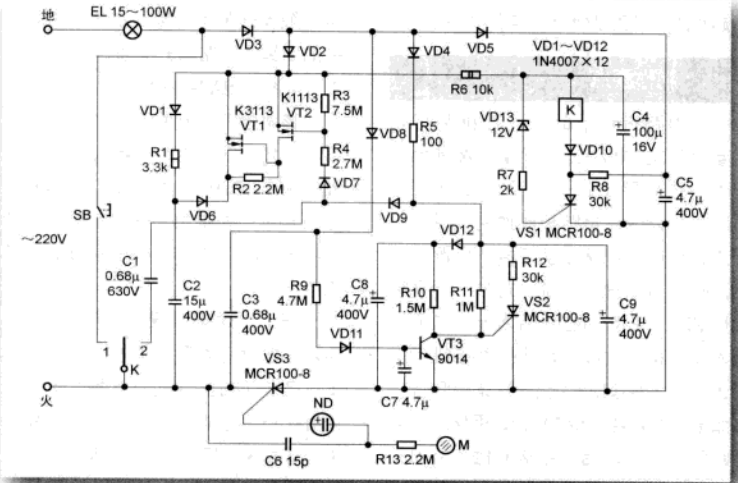


图2 电路原理图

2. 电容放电条件电路

该电路由晶闸管VS2、三极管VT3等元件组成。这个电路使灯EL在暗状态，触摸M时，电容C9上的电压（约150V）通过VD9、VD7和R4加到场效应管VT2的G极，使VT1上截止。这样就使得电容C2无法放电，也就无法作为执行电路的电源，而改为由220V交流电通过VD2整流后作为电源。结束触

摸后，C9放电，电压速度变为0，为下次触发作准备。而在亮状态触摸M时，由于电容C9电压为零，C2的电压顺利通过VT1加到继电器执行电路上，使之动作，当然，这时C9又会充上电压，确保电容C2正常充电，而不放电。触摸停止后，C9电压为0。电容C7用于滤波，使三极管VT3始终保持导通状态（触摸M时）。C1的目的是为了使灯由暗到亮的初始状态C2不掉电。C8和VD12的目的是保证C9完全放电。

3. 继电器执行电路

由继电器K以及晶闸管VS1等元件组成。当触摸M，灯由暗变亮时，220V电源通过二极管VD3、VD2和电阻R6，由于VS1截止，电容C4电压迅速上升，当上升到12V时，稳压管VD13（12V）导通，晶闸管VS1的G极有电流通过，VS1导通，继电器K吸合。触点K接到1位置，灯EL变亮。当再次触摸M时，灯由亮到暗，C2的电压通过二极管VD6、场效应管VT1的D-S极、电阻R6加到C4上，同样使继电器K吸合。为防止吸合后在换电源过程中K再次吸合产生误动作，这里接有防止误动作电路，由电容C5、电阻R8、二极管VD10和VD5组成。K吸合后，220V的电源通过二极管VD5使电容C5充电。一旦VS1导通，电容C5通过电阻R8和VS1放电，产生VS1的维持电流。这样就保证K吸合过程中电流不中断，避免再次被吸合。二极管VD10的作用是避免C5上的电流反方向通过K产生干扰。

4. 总控制电路

由晶闸管VS3和氖管ND等元件组成。当触摸M时，火线上电流通过电容C6和电阻R13，触摸片M和人体电容到地，在C6上产生60V左右的交流电压加到氖管ND上，使氖灯发亮，VS3的G极有电流通过，VS3导通，完成灯由亮到暗和由暗到亮的控制过程。

电路中接有常闭开关SB，在停电后来电而C2无电时，按下SB可使C2充电，让电路重新正常工作。用二极管VD3的目的是使C2在亮状态减小漏电流。

元件选择

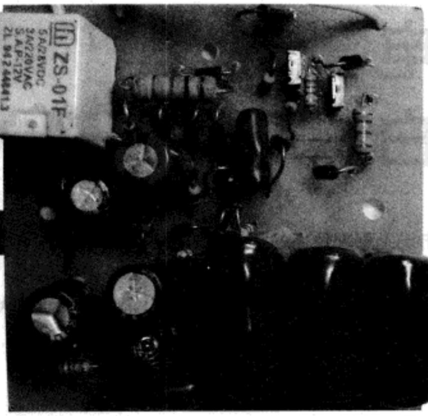


图3 电路元件排列

电容C2为主要元件，使用耐压400V涤纶电容，要选择漏电流小的。如找不到15μF的，可以使用4.7μF/400V的3只电容并联代替。场效应管VT1、VT2分别用2SK3113和2SK113。继电器K用记忆自锁继电器，工作电压12V，型号ZS—01F。电阻R1用1W碳膜电阻，电阻R6用2~3W碳膜电阻，其他电阻都用1/8W的。二极管VD1~VD12都用1N4007。稳压管VD13用1W/12V的。晶闸管VS1~VS3用单向晶闸管MCR100-8，不可用BT169代替。电容C1和C3用0.68μF的涤纶电容，C1耐压630V，C3耐压400V，电容C7用16V/4.7μF漏电流小的钽电容。C6用15pF的瓷片电容。其他电容都用电解电容，耐压如图2所示。三极管VT3用9014，β在200~250。氖管ND用60V起辉的。开关SB用小型常闭开关。

制作要点

电路板设计时，元件排列可以参见图3。电容C2应尽量远离其他元件，减小漏电流。火线和地线应在电路板的外缘。电路板制作完成后，检查元件确认焊接无误后接上电源和灯泡EL，可以进行调试。首先，观察触摸M时，看氖泡ND是否发光。如果不发光，检查火线、地线是否接错了。正常后，触摸M看继电器K是否吸合。如果不能吸合，检查VD3是否接反。当灯能正常亮暗后，手离开触摸片M，观察灯泡暗时是否有微亮。如果有，说明电容C3给VS3的电流太大，由于MCR100—8的维持电流很小，一般在0.2mA左右，故C3给VS3的电流要小于0.2mA，否则会出现微亮的情况。最后，触摸M，灯由暗到亮时不放手，等10s左右，看灯是否会从亮到暗。如果能够回到暗状态，说明正常，如果不能，说明R11太大，可适当减小。如果从亮到暗与从暗到亮的时间间隙太长，可能是电容C9太大，可适当减小。一般要求间隙时间在2s为好，不能太小。

最后，把电路板装入塑料外壳内，引出火线和地线。外壳面板可用延时触摸开关的面板，后盖用机械开关的明线盒。常闭开关SB可以在后盖上方打孔，用AB胶进行固定。

该触摸开关在灯亮后的持续时间不小于10小时（这时电容C2电压会从300V减到100V）。灯暗时，没有触摸时间限制。如果由于停电等原因，造成电压小于100V，必须按SB使之重新充电。

当然，这种触摸开关还有缺点，如对工作时间的限制（亮状态），还不支持日光灯电路，这些有待进一步改进。读者在制作过程中如果有问题，可将相关问题发送至邮箱 8874746@163.com，笔者愿意与您一起进行探讨。

小制作

◎刘潇

冰箱关门提醒器的制作

关于冰箱关门提醒器的介绍很多，这里介绍一个笔者前几年制作并使用至今的一个冰箱关门提醒器。它的电路非常简单（见图1），工作可靠且耗电极少，一个9V的电池可以用1~2年。该装置在冰箱门打开20s后才会开始报警，并持续20s，期间只要冰箱门闭合，电路就会自动停止报警。下面介绍电路的工作原理和制作要点。

工作原理

电路由一片数字电路CD4060（IC1）组成。CD4060是14位二进制串行计数/分频和振荡器。它由两部分构成：一部分电路是14级分频器，其分频系数为16~16384（由Q4~Q14输出）。另一部分电路是振荡器，可由外接电阻和电容构成RC振荡器。$f=1/2.3R_T \cdot C_T$，见图2。本装置由C1、R2组成频率约为160Hz的振荡器。当MR(12脚) 为高电平时，计数器清零且振荡器停止工作。

当冰箱门关闭时，黑暗状态下光敏电阻RC1呈现高阻值状态（200kΩ以上），通常只要RC1的电阻大于30kΩ时，IC1的MR脚视为高电平，电路呈现复位状态，计数器清零，振荡器停止工作，电路处于待机状态。此时电路的耗电小于40μA。当冰箱门打开后，冰箱内的照明灯点亮，此时光敏电组呈现低阻状态，阻值约3kΩ，通常只要RC1的电阻小于15 kΩ时，IC1的12脚视为低电位状态，此时电路复位解除，IC1内部的振荡器开始工作，计数器开始工作。 延时约20s后，IC的Q12端输出高电平，驱动蜂鸣器发出报警声，提示冰箱门没有关闭。

报警会持续约20s，这期间，任何时候只要IC1的MR脚再次出现高电平，电路被复位，报警声立即停止。 电路报警时，电路耗电约5mA。

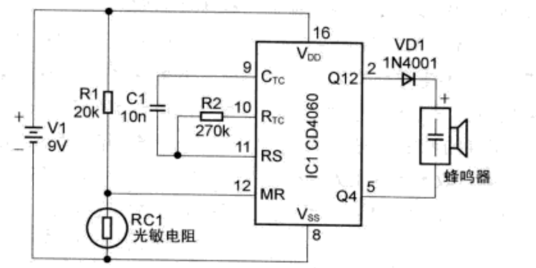


图1 电路原理图

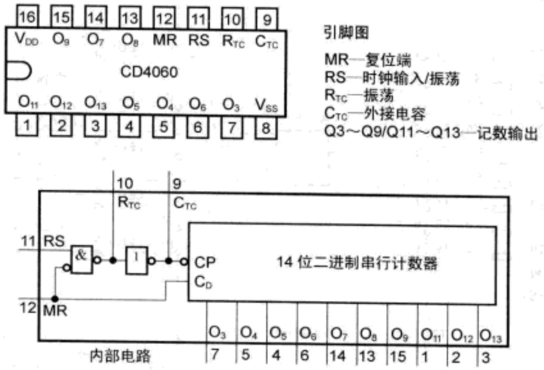
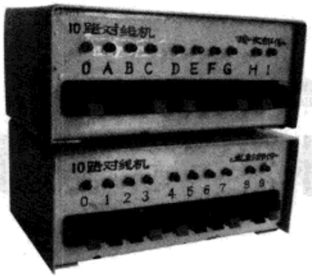


图2 CD4060引脚及内部结构

元件选择及制作

电路均采用常见普通元件。光敏电阻的选择没有严格限制，只要暗阻大于 200 kΩ，亮阻小于 3 kΩ 左右的都可以使用。VD1 可用 IN914 或 IN4148 替换。蜂鸣器采用自振荡型的，可根据电源电压选择工作电压。电源电压在 3~15V 电路都可以工作。为了保证报警音量，笔者采用的是 9V 层叠电池。只要接线正确，电路无需调试就可以工作。



◎霍永强

实用多芯电缆对线器

我们在制作和安装一些远距离控制的电路（如病房呼叫系统、楼宇保安呼叫系统以及工厂电气设备的远控电箱等）时，经常会用到多芯控制电缆来连接电路，有时由于电缆标记不清、安装距离较远，往往要花费大量的时间和精力对电缆的线芯一根一根地核对（这项工作简称“对线”），既麻烦又容易出错。为此，本人设计了一套实用的对线装置，本装置的优点在于电路简单实用、对线时间快，能在较短的时间内一次核对9根电线，经一段时间的使用，效果很好，对线准确率达100%。

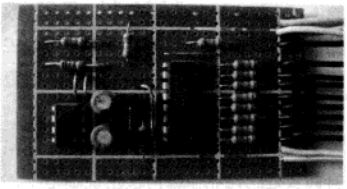


图2 电路板实物

元件明细表

IC1	NE555	C1、C2	4.7μF	R13	120kΩ	LED11	φ5绿色
IC2	CD4017	R1～R12	2kΩ	S1	3A开关	LED1～LED10	φ5红色

对线装置主要由发送器和接收器两部分组成，电路如图1所示，原理是利用发送器通过被测电缆向接收器循环送电的方式对9根电线进行轮流送电，观察接收器上指示灯的发光顺序，记下对应电线的送电顺序，并与发送端的顺序一一对应，从而达到快而准的对线目的。该装置实物电路见图2。

在制作发送器电路中，为避免损坏集成电路IC1、IC2，焊接用的电烙铁必须接地或断开电源再进行焊接。发送器和接收器制作完毕并检查确认无误后可先对其进行测试，方法是用10根单芯电线分别将发送器的输出端子T0～T9与接收器的输入端子I0～I9一一对应连接。接通电源开关S1，发送器的LED11发光（表示电源接通）、LED10闪光（频率约为1Hz，表示有信号发送），观察接收器上的发光二极管应按LED1～LED9的顺序循环发光，其中LED1～LED8发光二极管的发光时间约1s，LED9发光时间约2s（区别于其他发光二极管，以表示重新开始计数）。由于电路比较简单，一般情况下测试可一次成功。

开始对线前，先用万用表量出电缆内的1根相通的电线（或找1根其他电线）作为公共电线，将公共电线连接于发送器的公共端子T0和接收器的公共端子I0。按图将要核对的9根电线分别连接于发送器的输出端子T1～T9上（对应的电线临时编号为1～9）和接收器的输入端子I1～I9上（电线编号待核对后确定）。

接通电源开关S1，接收器上的发光二极管LED1～LED9会循环发光，观察并记录其发光顺序（发光时间2s的后一个发光二极管重新开始计数为第1个、第2个……），第1个发光的发光二极管所对应连接的电线编号为1，第2个发光的发光二极管所对应连接的电线编号为2，如此类推，很快就将所有电线准确无误地核对完毕。

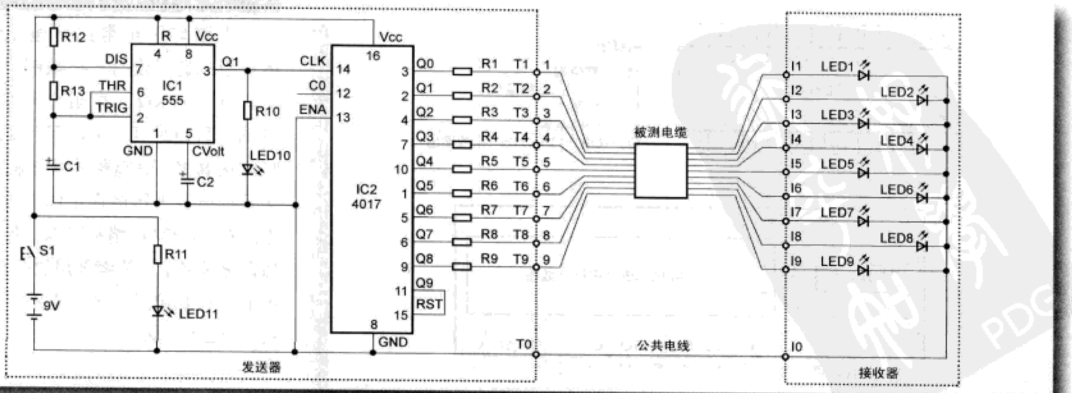


图1 电路原理图

我的第二版数码相框

——数码相框的升级制作

◎张彬杰

读者朋友们，大家好！大家是否还记得今年第4期《无线电》我介绍的“数码相框也能自己做”一文吗？这次，我将为大家带来一款新的“数码相框”。它更加容易DIY，主要元器件只有3个：彩色液晶、AVR单片机和存储卡。它的性能也有所提升，液晶屏使用了320像素×240像素的分辨率，单片机从原来的51升级成了AVR。它也更易于使用，最高支持1280像素×960像素的BMP图像。新版“数码相框”运行效果如题图所示。

一　所需元器件及材料

制作所需元器件实物如图1所示，整个播放器几乎没使用什么分立元件。它使用了一片LM1117-3.3及4片电容，把电源电压稳定到3.3V。选用AVR的ATMEGA16L单片机作为控制芯片，它可以工作在3.3V的电源电压下。它有1KB的内部RAM，有硬件SPI接口，最高可工作于8MHz速度。由于AVR单片机内部集成RC振荡器，最高频率为8MHz，可以不必接外部晶振。最后还需要一个SD/MMC卡槽，方便插入SD/MMC卡。彩色液晶屏幕的分辨率是320像素×240像素，自带ILI9325控制器，只要通过发送命令就可以方便显示图像了。更具体的元器件，请看电路原理图，就不再一一介绍了。

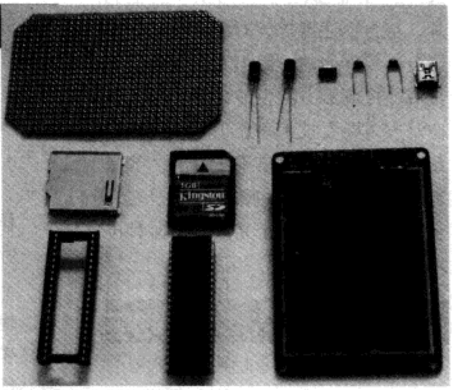


图1 制作所需元器件实物

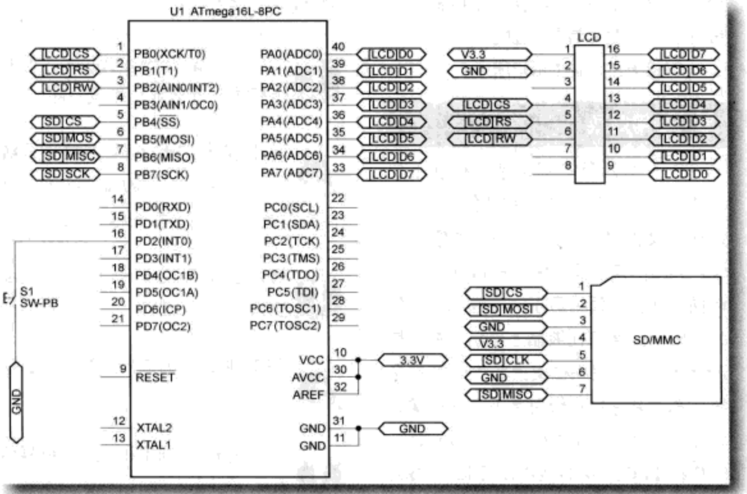


图2 电路原理图

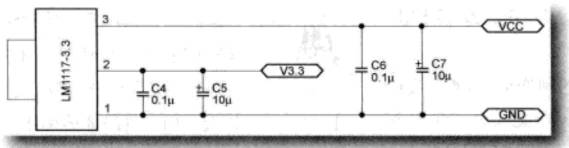


图3 电源电路

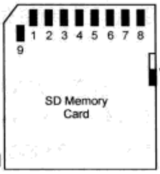


图4 SD卡引脚图

二　电路原理

电路原理如图2所示。AVR单片机的I/O和液晶及SD卡都是直接连接的。单片机用了11个I/O口和液晶模块连接（液晶模块的3根控制线、8根数据线），用了4个I/O口（PB4～PB7）和SD卡连接（SPI总线）。电源电路如图3、图4所示，用USB充电器的5V电源，经过LM1117-3.3稳压模块，转换成3.3V电压。当然了，如果读者朋友有3.3V的电源，也可以直接使用。最后，笔者在PD2上加了一

个按钮，可以用来暂停图像播放。

三 重点器件的选择理由及介绍

选择单片机时，其内存最好大于512字节，因为SD/MMC卡的数据读写是以512字节为单位的。最好选用有硬件SPI接口的单片机，因为硬件SPI接口肯定比软件模拟SPI的速度快。笔者选用的ATMEGA16L单片机作为控制芯片，符合上述要求。彩色液晶模块要选自带控制器的，因为一般单片机不带液晶控制器。彩色液晶模块的具体控制方式要看技术手册了，不同控制器，它的控制方法是不一样的。笔者选用的这块2.8英寸的液晶模块是在淘宝网上买的，还附带光盘，里面有技术手册和驱动源代码。

四 制作过程

1. 先购买一片带ILI9325控制器的彩色液晶，尺寸不限，最好是已经焊接好插针的，方便DIY。

2. 剪裁万用板尺寸，最好和液晶模块一样大。

3. 万用板上先焊接上单片机插座、SD卡槽、miniUSB接口。

4. 用导线连接单片机和液晶模块对应的I/O口，再连接单片机和SD卡槽上对应的引脚。

图6 显示效果

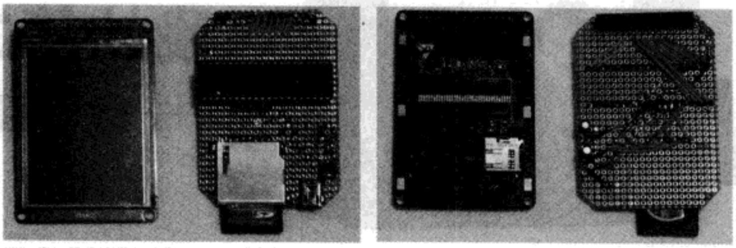


图5 液晶模块和控制电路正反面实物图

5. 焊接贴片的LM1117-3.3电源稳压芯片及4片电容。

6. 最后，可以在INT0引脚上加上一个微动按钮，也可以不安装微动按钮。提示：如果对SD卡的引脚关系不是很清楚，可以先对照图4中SD卡引脚顺序，和电路原理图中的引脚顺序关系一一对应，其中8、9号引脚未使用。

当然，如果想要携带方便，也可以使用电池供电。因为笔者选择的液晶还有触摸屏功能，因此没有安装微动按钮，而是用触摸屏的“触摸中断”引脚作为“按钮”，点击触摸屏相当于按下按钮。焊接好万用板后，就可以拷贝图片看看播放效果了。

焊接好的电路如图5所示。

五 使用效果

图6所示是在彩色液晶模块上显示的效果图。显示完一幅图像后，还可以显示文件名。延迟2s后，继续显示SD卡中的下一幅图像。播放期间，可以按“按钮”暂停显示。文件名可以任意，但中文字符在液晶上显示，将会是2个空格。数码相框支持FAT32文件系统，图片要存放在根目录下。支持像素为240×320、480×640、720×960、960×1280、320×240、640×480、960×720、1280×960分辨率的BMP图片，支持16位、24位、32位BMP图片。

对本文介绍的制作有兴趣的读者可以到本刊网站www.radio.com.cn上下载相关程序和SD读写方法介绍。

常见问题：

Q 我有一片2G的SD卡和一片128M的SD卡，为什么2G的不能用啊？

A SD卡最好使用容量为1G以内的。因为大容量的SD卡不一定支持SPI协议。

Q 我也有块彩色液晶模块，分辨率也是240×320的。只是控制器不是ILI9325。能用您的烧录文件吗？

A 不能用。通常，不同的液晶控制器，它的命令代码是不同的。

Q 为什么我的256M的SD卡，插到卡槽里，什么显示都没有呢？

A 你要确认SD卡是FAT32文件系统才行。你可以在Windows下，文件系统选FAT32后，重新格式化SD卡。

Q 为什么液晶上显示的图片是乱的？

A 你要确保图片的分辨率符合要求。

Q 为什么显示一幅图片的时间要很久？

A 你是不是忘了设置AVR的熔断丝位，设置熔断丝位可确定AVR的速度不少于8MHz。如果还觉得慢，就超频一下，外接12MHz的晶体振荡器好了。我试过，速度提高不少。

红外遥控信号无线转发器

◎康春雨

通常家用电器的遥控器大多是红外线遥控器，虽然其抗干扰能力强，但遥控距离仅10m左右，而且不具有像无线电遥控那样穿过障碍物去控制被控对象的能力。如果这类电器需要远程遥控或穿过障碍物控制，就要使用红外遥控信号转发器。

红外遥控信号转发器分为有线与无线两种，本文介绍一种无线红外遥控信号转发器，无线传输部分采用通用的315MHz或433MHz无线数据收发模块制作，可以将红外线遥控器发射出的信号进行无线传输，具有传输距离远，性能稳定，无须布线的特点，还可以对受控电器的总电源进行控制。通过选择不同发射功率的发射模块，可以使红外线遥控器的遥控距离由10m扩展至数百米甚至数万米，使用小功率的发射模块可以在家庭中实现空调器、机顶盒等电器的隔墙控制。

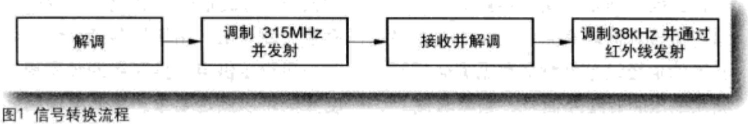


图1 信号转换流程

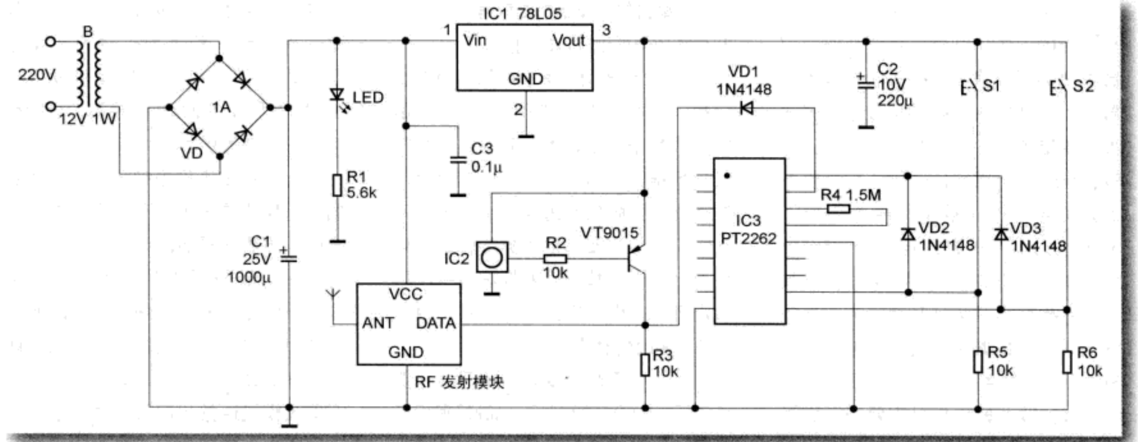


图2a 红外接收－无线发射电路

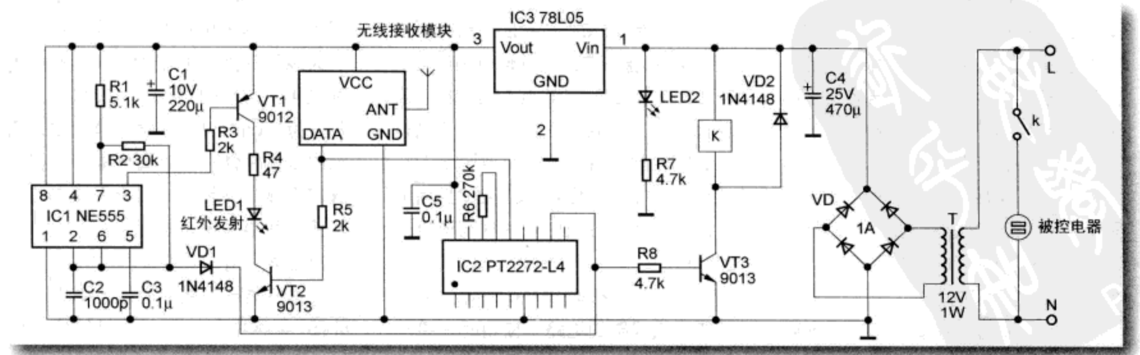


图2b 无线接收－红外发射电路

由于高频电路部分采用了成品模块，使业余条件下的电路制作和调试变得非常简单。

为了提高接收灵敏度及减小误码率，常用的无线数据收发模块的最大传输数据速率一般控制在2.5kbit/s左右，主要用途是传输数据量非常小的遥控信号。而通常家用电器的遥控器发出的是经过数百赫兹数据编码信号调制的38kHz红外信号，频率较高，因此不能直接进行传输，需要先进行解调，提取出有用的数据编码信号进行无线发送，再由接收模块接收后送38kHz的红外调制电路和驱动电路，经红外线发射管还原成红外遥控信号，从而实现红外遥控信号进行远距离遥控。信号的转换流程如图1所示。

发射电路见图2（a），电路中用通用的一体化红外线接收头对遥控器发出的红外信号进行接收、放大和解调，这种接收头内部集成了前置放大、限幅放大、带通滤波、检波、比较、积分、斯密特比较等一系列复杂的处理电路，其输出信号为去掉了38kHz载波信号的数据编码。这种红外线接收头静态时输出为高电平，而数据发射模块为了降低功耗采用ASK调制方式，当数据输入端为高电平时将持续工作，很容易损坏发射管。因此红外线接收头输出信号需要经三极管VT1、R3构成的反相器反相后驱动发射模块。同时编码电路IC3（PT2262）的输出信号经隔离二极管VD1也送入数据发射模块，用于控制图2(b)接收电路中的继电器，按下S1时继电器吸合，按下S2时继电器断开，用来对电器的总电源进行控制。发射模块的工作电压为3～12V，电压高时发射距离远，这里采用12V电压以增大发射距离。红外线接收头和编码电路IC3采用5V工作电压，由稳压电路IC1提供。

图2（b）为无线接收-红外发射电路，电路主要作用是将收到的编码信号重新调制到38kHz载波上，通过红外发射二极管进行发射。同时，收到的信号也送至PT2272，如有PT2262的编码信号，则通过R8、VT3驱动继电器。电路中由IC1(NE555)和R1、R2、C2、C3构成多谐振荡器，IC1 3脚输出38kHz方波信号，通过R3，VT1功率放大后输出。由于振荡频率低，同时采用稳压供电，振荡器的频率稳定度完全可以满足要求。接通电源后，IC2（PT2272-L4）的11脚输出为低电平，通过二极管VD1拉低电容C2上的电压，迫使振荡器停振。同时VT3截止，K断开。按下发射电路中SW1后，IC2的11脚变为高电平并保持，IC1振荡器起振，同时K吸合接通电器电源。此时无线数据接收模块输出的信号通过VT2对VT1输出的38kHz方波信号调制，调制后的信号通过LED1发射。

PT2272常见的有3种后缀：M4、L4和T4，本电路选用PT2272-L4，它的输出的数据是锁存的，有遥控信号时某一数据脚输出高电平，遥控信号消失时该数据脚依然为高电平，直到下一次收到信号使其他数据脚输出高电平为止。无线数据收发模块的生产厂家众多，其引脚定义可能并不一致，可在购买时向销售商索取。

用户如果想改变地址编码，只要将PT2262和PT2272的1～8脚设置相同即可，例如将发射机的PT2262的第1脚接地，第5脚接正电源，其他引脚悬空，那么接收机的PT2272只要第1脚接地、第5脚接正电源，其他引脚悬空就能实现配对接收。PT2262和PT2272除地址编码必须完全一致外，振荡电阻还必须匹配，否则接收距离会变近，甚至无法接收，通常PT2262的振荡电阻选1.5MΩ， PT2272的振荡电阻选270kΩ。

315MHz和433MHz发射、接收模块是很成熟的电路，使用时只要按标记正确接入直流电源和天线就可以了。接收模块有两大类型的电路组成形式，一种是超外差式的，性能稳定，抗干扰能力强，但成本偏高，另一种是超再生的，灵敏度高，电路简单，造价低。经试验，这两种电路都可以正常使用。另外模块设计有315MHz和433MHz两种频率，合理地选用可以避开干扰。

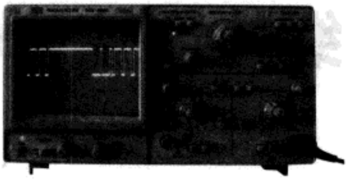


图3(a) 红外信号接收后输出的信号

图3(b) 无线信号接收后输出的信号

为了电路工作稳定可靠，无线数据发射模块要采用声表谐振器SAW稳频的，声表谐振器的频率稳定度仅次于晶体，而一般的LC振荡器频率稳定度及一致性较差，即使采用高品质微调电容，温差变化及振动也很难保证已调好的频点不会发生偏移。无线数据接收模块通常用超再生式的就可以满足要求，带可调电感的也比采用可调电容的电路稳定性好，要求较高的情况下可以采用超外差接收模块。收发天线可以使用普通导线，315MHz天线选用23cm长的导线，433MHz天线长度为17cm，天线和收发模块要远离大的金属物体。远距离传输时最好能够将天线竖立起来，因为无线电信号传输时受很多因素的影响，所以一般实用距离只有标称距离的20%甚至更少，这点需要在制作时注意考虑。另外图2电路中红外发射二极管的工作电流不大，红外发射二极管应安装在

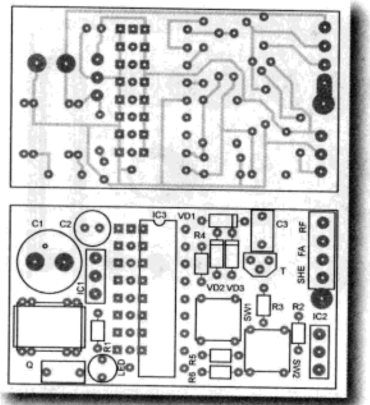


图4(a) 发射部分的PCB图

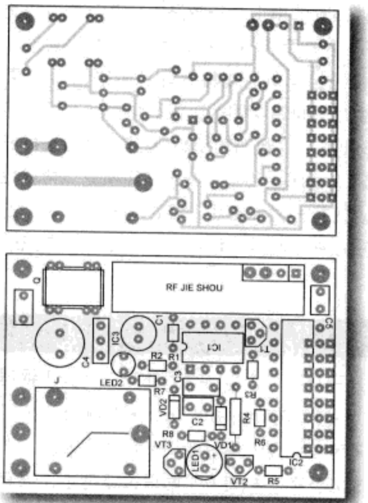


图4(b) 接收部分的PCB图

距电器红外接收窗口10～20cm远的地方，太远或太近效果都不好。有少数电器的红外线遥控器发射中心频率不是38kHz的，注意要调整图2（b）中R1、R2、C2的数值。

电路设计完成后，通过对实际电路进行测试，各关键点电压波形均符合设计要求。图3（a）是红外线遥控器发出的红外信号直接被红外线接收头接收后输出的信号，图3（b）是红外线信号经无线传输后被红外线接收头接收后输出的信号，编码芯片型号为BA5104。试验是在普通楼房中进行的，中间间隔3个房间。可见，数据经远距离传输前后没有发生畸变。测试示波器的电压旋钮在2V/格，扫描周期是1ms/格。从图中波形可以看到，幅值约为5V，相当于电源电压。该芯片编码格式较简单，波形中脉宽最大的约4ms的脉冲应该是遥控信号的起始码，其他脉宽较小的脉冲代表0或1，组成系统码和数据码。

试验中采用了标称发射距离200m的无线发射模块，实测在无障碍环境下可靠工作距离不小于100m，在障碍物较多的楼房内可靠工作距离也不小于20m。

图4（a）和图4（b）分别是发射和接收部分的印制电路板图，读者制作时可以参考。

图5是制作完成的实物图片。

安装和使用

以房间A的电视机与房间B的机顶盒组成的系统为例，机顶盒与电视机之间通过AV端子或S端子等音视频接口进行有线连接，也可以利用 2.4GHz无线影音传输装置进行无线连接。电路A放置于房间A的电视机旁，红外线接收头的接收面朝向观众，电路B放置于房间B的机顶盒附近，红外线发射二极管面对机顶盒面板的接收窗，且距离不要太远（根据试验后决定，以被遥控设备能稳定收到遥控信号为准）。如果无法满足该条件，可以通过延长线把红外线发射二极管引出，粘贴到机顶盒附近的合适位置。具体的位置也需试验后决定。

电路b中的继电器触点与机顶盒的电源开关并联，就可以通过电路a遥控控制机顶盒电源的开关了。如果不想对机顶盒作改动，也可以把机顶盒的电源插头插在一个带开关的插座上，用插座上的开关进行控制，再把电路b中继电器触点与插座上的开关并联，这时机顶盒的电源开关需要处于常闭状态。

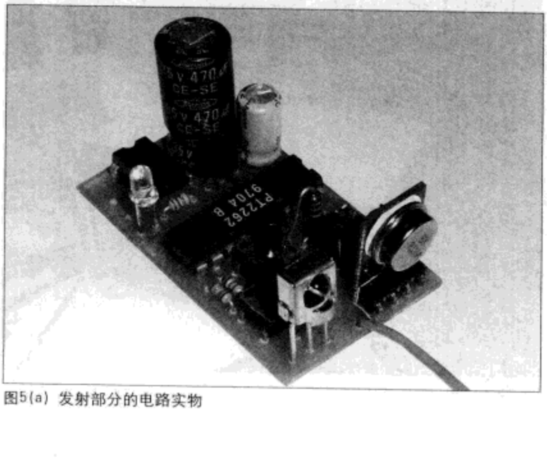


图5(a) 发射部分的电路实物

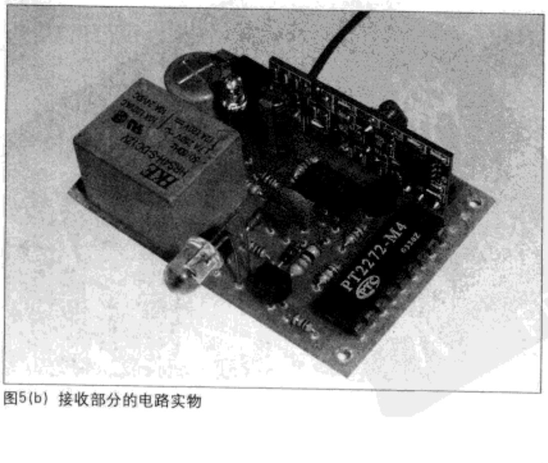
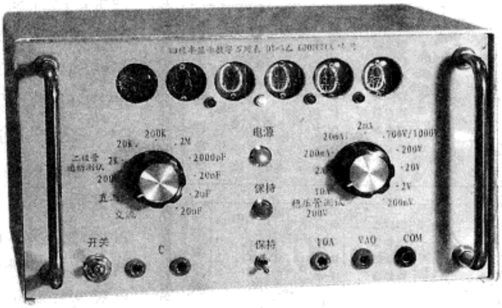


图5(b) 接收部分的电路实物

◎高磊

用辉光数码管制作数字万用表



一 突发奇想

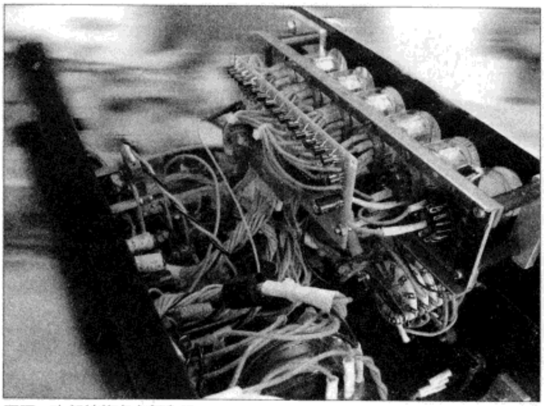
一次，看到网友制作的辉光数码管时钟，觉得很有趣。暗红色的辉光给人一种非常古老的感觉，非常希望自己也能拥有一台。正好我也需要一台功能比较全的台式万用表，突然想到为什么不做一台用辉光数码管显示的数字万用表呢。这样，对我这个无线电爱好者来说，实用性会更大一些。于是“抗战”的决心就这么定下来了。

二 厚积而薄发

看了些书以后，我发现，原来制作万用表也不是那么容易的，虽然我号称“超级菜鸟”，但这个工程对我来说还是很艰巨的。不过好在不是公司开发产品，没有老板来催，大可搞上个八年抗战。当然最终没用那么长时间，大概半年多时间就完成了。这期间，早先买的一本《中外万用表电路原理与维修技术》成了我的枕边书，每天睡前必看此书，半年下来虽然没有翻烂，也已经开始掉页了。除了看书，论坛也成了学习的一个重要途径，每天上网必去的就是矿石论坛的工具仪表版块，论坛上所有的网友都成了我的老师。半年论坛泡下来，有些不知底细的“菜鸟”也开始叫我“老师”了。 这一通恶补下来，理论知识问题不大了，收集做表所用的元器件却成了个不大不小的问题，光是辉光数码管和管座就找了很长时间。那段时间里，我发现在商品社会里，想买点东西有时也是件很难的事情，毕竟是年代久远难以寻觅了。很多次，当好不容易看到有人在论坛出售数码管时，总是发现前面的网友已经简单而残酷的写上了3个字“全要了”。不过好在人生总有柳暗花明的时候，单位一个同事翻捡旧物时竟然找出6只QS27-1数码管和4只管座。我自己拆旧仪器得到几只QS30-1，后来买二手示波器，商家竟然帮我找到了最后一只管座。这样一番准备后，经过整一个月时间的安装调试，最终把它放在了我的工作台上，成了我最得意的一件作品。

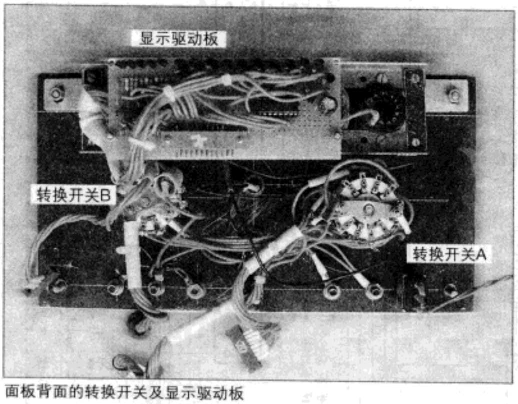
三 抗战历程

这块表的外壳是利用了一个老UPS的外壳，将其用钢锯截短了约1/3，外形尺寸为270 mm×150 mm×190mm。为了得到怀旧的效果，笔者在外壳喷漆时专门选用了仪表灰。面板则选的浅灰底色加黑色字，并装上了两只镀铬把手，很有

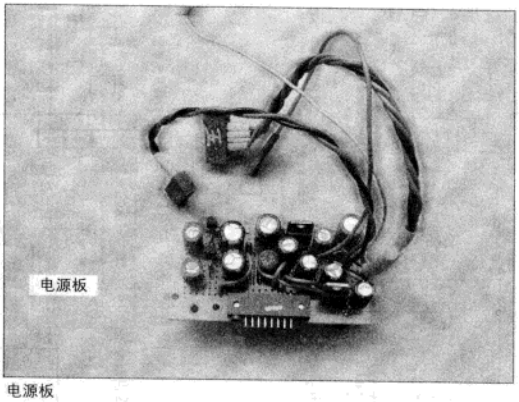


呵呵，内部结构有点复杂了

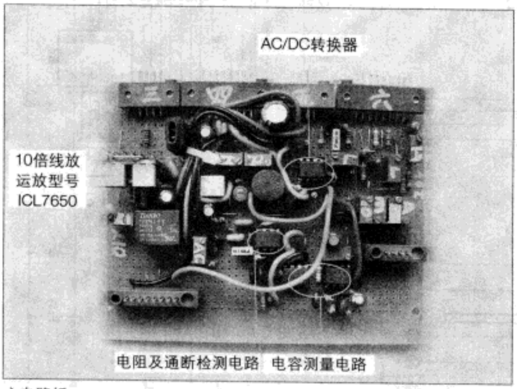
自制外壳



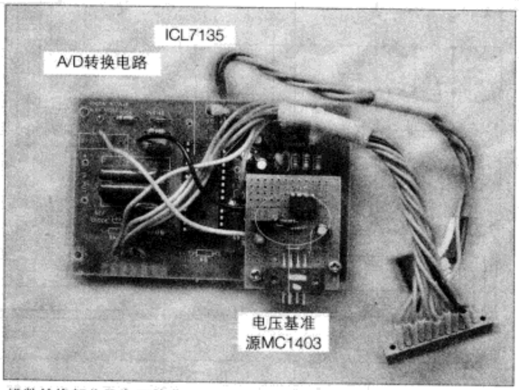
面板背面的转换开关及显示驱动板



电源板



主电路板

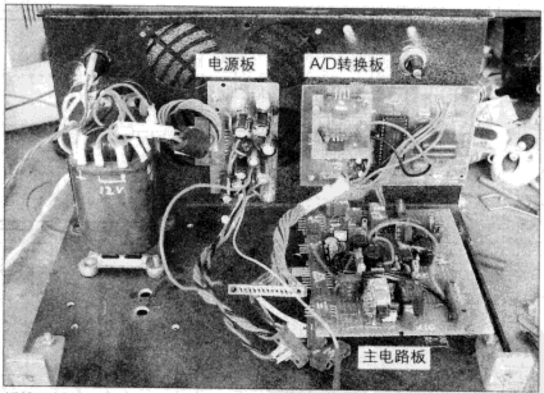


模数转换部分及电压基准

点电子管时代的感觉。

制作表的内部时，首先制作的是显示和显示驱动部分。因辉光数码管需要用管座安装，笔者又专门为管座制作了支架。数码管管座和显示驱动板之间是用飞线连接的，光是这个线束就焊了整整一个晚上，但，这只是开始！这块表完成后共有11支线束，9组插头，用了近20m的焊接线。通过这次制作，使我切实感受到了那个年代无线电厂工人的辛苦。显示部分完成后，我陆续制作了电源、A/D转换部分、基准电压源、主电路板、挡位转换开关等。在制作过程中电源问题不少，主要是变压器的摆放位置，地线及接地点的布置，还有电源干扰，而且问题是随着制作过程逐渐暴露出来的，制作时只好随着制作进度一步步地改进。

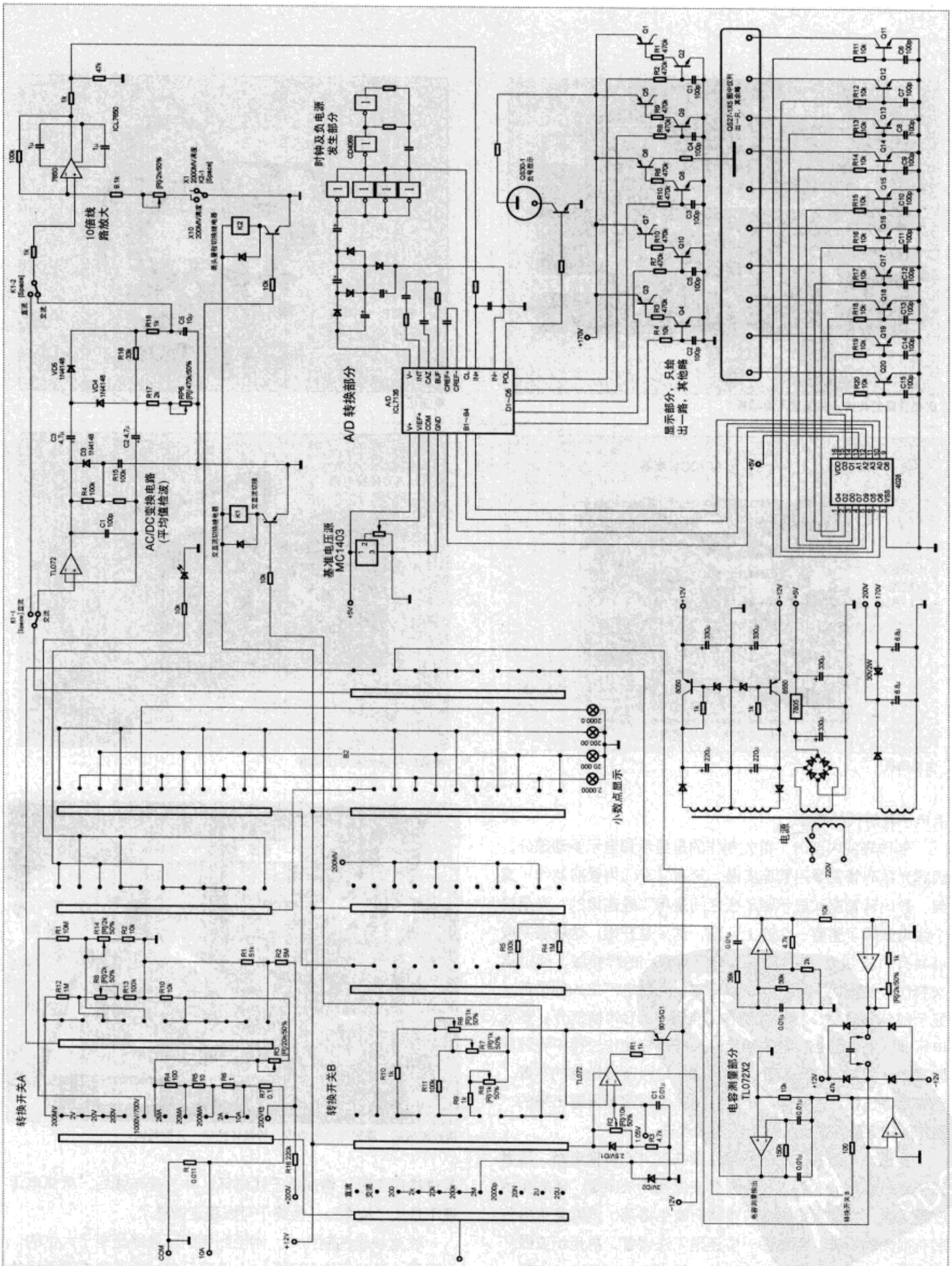
电压、电流挡制作的难度主要在AC/DC转换电路。笔者完成电路后第一次测试时，所有交流挡无法归零，随后用示波器观察，发现平均值检波电路有寄生振荡，消除寄生振荡后有很大的好转，但最后一位还是无法调零，再用示波器仔细观察，发现是电源干扰造成的。笔者又加大了滤波电容，



拆掉面板后，顺时针为电源板、模数转换板、主控制板

改进稳压电路，增加抗干扰磁环，并改善布线后，虽然电源还不是太“纯净”，但终于可以稳定调零了。

在这块表的制作中，刚刚到手的示波器是帮了大忙的，在后面电阻挡恒流源制作时也遇到了寄生振荡和电源干扰的


10倍线路放大
ICL7650
时钟及负电源发生部分
CD4069
A/D 转换部分
ICL7136
AC/DC变换电路
(平均值检波)
基准电压源
MC1403
显示部分，只给出一路，其他略
4028
小数点显示
电源
220V
转换开关A
转换开关B
电容测量部分
TL072X2
TL072
+170V
+5V
+12V
-12V
200V
170V
COM
10A

完整的电路图

表的自我介绍

我是一台$4^{1}/_{2}$位数字万用表，之所以不论“块”，是因为我是台式的，没办法，用这么老的辉光数码管只能做成台式的。至于我的功能么，也还可以，比如交直流电压、交直流电流、电阻、电容、通断、二极管和稳压管的测试什么的都行。反正一共39个挡位，您也别嫌少了，这就用了两只11波段的转换开关了，一个4层的、一个6层的，别看是老式的，那可是“瓷实”着呢。

别看我样子老旧，A/D转换器可是经典的ICL7135 $4^{1}/_{2}$双积分A/D转换器，测量速率3次/秒，MC1403精密基准源提供基准电压。CD4028十段译码驱动，您一般没听过10段译码驱动吧，都是7段译码驱动，呵呵，电子管时代就是10段的。因为CD4028无法直接驱动辉光管，又接了两级三极管来驱动辉光管，这两级三极管可是新型号的，没办法，3DG12撑不住，就连3DG12X都承受不了170V的高压。因为ICL7135的满度量程为2000mV，为满足200mV电压挡和电流挡的需要，还有一片ICL7650斩波自稳零精密运放作10倍线路放大器，使表头满度量程在需要时扩展为200mV。

因为做表的那家伙没能买到真有效值转换芯片，AC/DC转换部分将就着用了平均值检波电路。我的电容挡由两只TL072双运放组成，用容抗法测试电容，测试时无须调零。电阻挡测量是恒流源法，用一只TL072的其中一半组成测试用恒流源，另一半用做通断检测。电阻挡测试时，可以通过表头满度量程的变换（200mV或2000mV）来满足200Ω~2kΩ挡及20~200kΩ挡的量程转换，省掉了两只量程转换电阻，而且电压和电容挡也是类似的，从而使量程转换部分大大简化。做表的那家伙还根据需要设了一个稳压管测试挡，量程为200V，除可测试稳压管外，也可以测试200V以下的二极管和三极管反压。我的显示部分选用的是QS27-1和QS30-1两种辉光数码管，数字部分由QS27-1显示，负号则由QS30-1旋转90°安装后显示数字“1”来实现，没办法，谁让符号管都让别人买走了呢。

问题，如果没有示波器根本不知道如何下手。其实现在二手的示波器非常便宜，功能也不错，在业余制作中有一台示波器往往能得到事半功倍的效果。

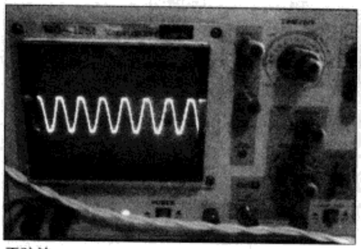
我重点介绍一下如何用示波器来调试电容测量部分。首先需要把示波器接在文氏桥振荡器的输出端，通过示波器观测400Hz正弦波测试信号是否为标准正弦波、正负两半波是否对称、是否有寄生振荡等。然后把示波器接在第一级放大器后观测波形是否有变化，信号幅度是否正确。这时在电容挡测试端接一只电容，用示波器观察测试信号通过电容的情况，这时波形有很大的畸变，但应该是圆滑的，不能有尖刺等不正常的情况。最后把示波器接在电容测试电路的输出端，看低通滤波器是否工作正常，如果工作正常，输出应该是圆滑稳定的正弦波。

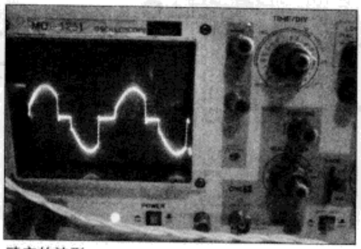
四 修成正果

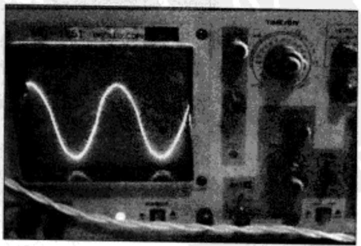
这台数字表完成后，先装上了一块临时面板，并用一块$3^{1}/_{2}$表简单地校准了一下（用三位半的表校准四位半我是第一人吧？）。通过一段时间的使用，我又改进了部分电路，主要因为部分电路工作不稳定。制作好面板，并完全定型后，笔者借到一只$4^{1}/_{2}$表重新校准了电压、电流和电容挡，电阻挡则单独用一只0.02级电阻箱校准。因为是业余制作，精度比起真正的$4^{1}/_{2}$表应该还有一点差距，但由于这块表挡位功能设置得比较齐全，基本不输于成品表，特别是还有稳压管测试挡，所以用起来是比较顺手的。

这台数字表的制作过程中得到了很多网友的帮助，比如表头A/D转换部分就是网友“小平”先生赠送的，而且在制作过程中，很多网友也提出了不少好的建议。

其实这块表并没有什么很特别的地方，最吸引人的就是显示部分选用了古老的辉光数码管，特别是在当夜幕降临后打开这台万用表，那微微闪动的橘红色数字仿佛在诉说着多少年前人类向数字时代迈进的步伐，让人感觉又回到了那个热情似火的年代。


正弦波


畸变的波形


圆滑稳定的正弦波

使用超级电容器储能的太阳能灯

◎康春雨

太阳能灯作为一种绿色照明的实现方式，是目前电子照明应用的热点，本刊也多次介绍过不同的制作方案。本文中，笔者为大家详细介绍一种利用超级电容器作为储能元件，结合DC-DC升压芯片BL8530的太阳能灯的制作方法。该太阳能灯很好地结合了太阳能电池板和超级电容器的优势，安装方便、工作稳定可靠、免维护、环保无污染、使用寿命长，可广泛应用于各种室内外照明场所。

一 电路如何工作

图1是太阳能草坪灯的电路原理图。在环境光线强时，太阳能电池经VD1向电容C1、C2充电，当电容上电压达到0.8V后，BL8530开始工作，输出3.3V电压，IC2及外围元器件组成的控制电路开始工作。此时IC2B反相输入端电压较高，输出低电平，进而使IC2A输出低电平，VT截止，LED不发光。当光线较弱不足以为C1、C2充电时，VD1阻止了C1、C2向太阳能电池的放电，同时IC2B同相输入端电压较高，输出高电平，IC2A光控电路进入工作状态。

电路中IC2A与RP共同组成一个电压比较器，由于环境光线变化缓慢，没有明显的明暗交界点，普通的电压比较器会在临界点附近较长时间地工作于线性区，具体表现为LED较长时间处于微亮的状态。为此，笔者加入了电阻R6，使比较器具有施密特特性，避免其工作于线性区。如果太阳能电池电压高于RP的设定电压，说明环境光线不是很弱，IC2A输出低电平，LED不亮。反之，如果太阳能电池电压低于RP的设定电压，说明环境光线很弱，IC2A输出高电平，LED点亮。

二 元器件的选用

VD1、VD2选用正向压降低的肖特基二极管，L用直流电阻小于0.5Ω的功率电感，以提高电路效率。如果自制电感，可以在Φ4mm×6mm工字磁芯上用直径0.2mm漆包线绕50匝，电感量约50μH。LED1～LED5用额定电流20mA的小功率白光LED，发光角度大的效果比较好，如称为草帽型或食人鱼的就可以，数量可在1～5颗之间选择。太阳能电池规格为6V/50mA，以保证在阳光较弱的天气条件下也可以获得足够的能量。VD是电容过压保护用稳压二极管，通常稳压二极管的稳压精度是±5%，业余条件下可以在标称值2.7V的稳压二极管中挑选出稳压值在2.65V以下的使用。VD上可能产生的最

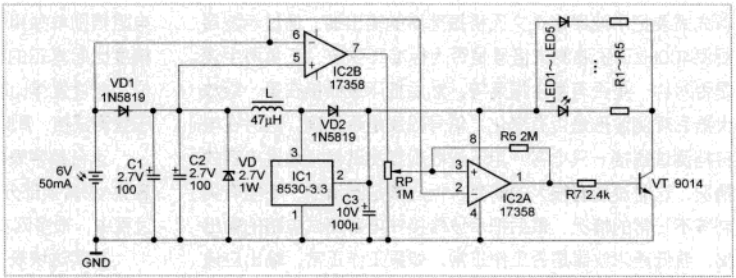


图1 电路原理图

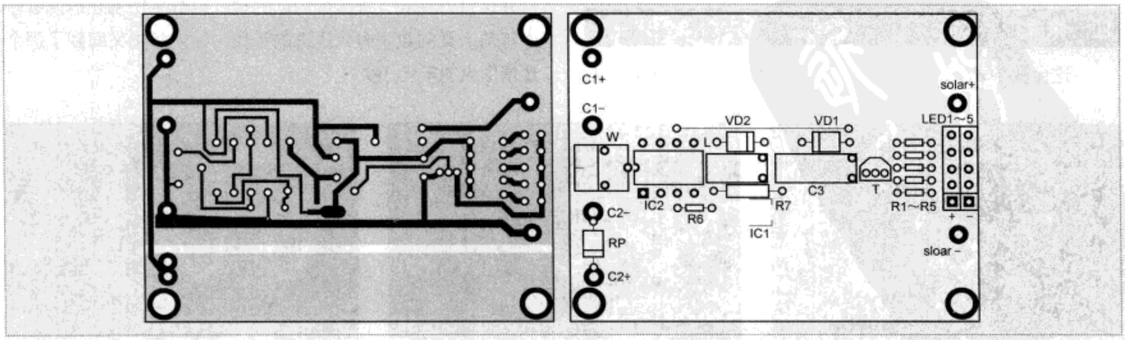


图2 印制电路板

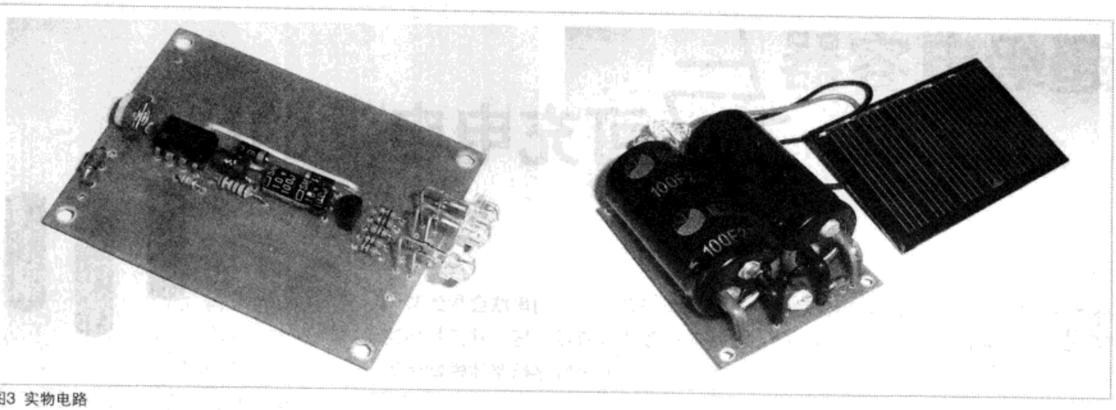


图3 实物电路

大功耗约为2.7V×0.05A=0.14W，因此选用额定功率0.5W的就可以了。IC2选用CMOS型的双运算放大器17358或双极型的LM358，前者自身耗电较小。VT的基极限流电阻可按图中选取，过大会造成VT导通时压降大，过小又会在该电阻上消耗过多的能量。

因为太阳能电池的光电特性比光敏电阻要好，本电路利用太阳能电池兼做光敏元件，控制LED的开关。这样做的另一个好处是不用另外再开孔安装光敏电阻，使用过程中也不用考虑光敏电阻的清洁问题。限流电阻R1～R5的阻值在调试过程中确定。

三 安装调试

安装时注意LED发出的光线不要直射太阳能电池板。在光照下，C1上电压达到0.8V以上后，C3上应有3.6V电压，此时LED应不亮。继续监测电容两端电压直到稳定为止，应不超过2.7V。再将太阳能电池遮挡住以模拟夜晚环境，调整RP，使LED发光，根据流过LED的电流适当调整R1～R5的阻值，使每个LED的电流在10mA左右。由于升压电路的输出电压非常接近白光LED的正向压降，LED个体的正向压降差异对电流影响较大，因此R1～R5必须分别调整。

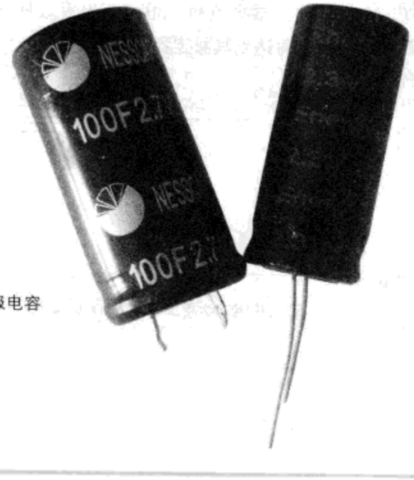
该电路静态耗电1.6mA（在C1和C2正极测量），采用2只LED时，在电容充满电的情况下发光时间可达3小时以上。

图2是电路板图供参考，为使结构紧凑，多数元器件安排在两储能电容之间的空隙中，BL8530是SOT-89-3贴片式封装，焊接在电路板的铜箔面。设计时注意RP引脚的铜箔面积应大些，以利于散热。由于储能电容的体积和重量比较大，应用胶辅助固定在电路板上，以免振动造成焊盘损坏。图3是未安装储能电容的电路板和制作完成的整体实物图片。

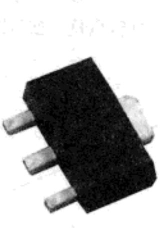
主要元器件介绍

超级电容器：该产品具有体积小、容量大、温度特性好、寿命超长的特点，广泛应用于电动汽车、大功率短时供能电源、太阳能储能、智能仪表、电动玩具等领域。由于与普通电容相比，其容量很大，对外表现和电池相近，因此也被称作“电容电池”。超级电容器单体容量范围通常0.1～1000F，循环使用寿命可达几十万次，自放电电流较小（2.7V/100F单体电容大约1mA）。另外在太阳能灯的应用中，通常所储电能是当天使用的，因此自放电的问题可不必考虑。

BL8530芯片：这是一款PFM控制的开关型DC/DC升压稳压芯片，工作频率350kHz，最高效率85%。该芯片的启动电压0.8V，保持电压0.7V，当V_{in}=1.8V，V_{out}=3.3V时负载驱动能力达200mA，静态电流小于5.5μA，而且仅需电容、电感和肖特基二极管3个外部元件。BL8530的输出电压为2.5～6V，可以根据需要进行选择。



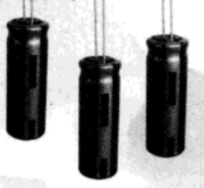
超级电容



BL8530芯片

超级电容器与可充电电池的比较

◎康春雨



超级电容器是20世纪80年代后发展起来的新型储能元件，具有体积小、容量大、温度特性好、寿命长的特点，广泛应用于太阳能储能、智能计量仪表、电动玩具等领域。由于其容量很大，对外表现和电池相近，在一些场合可以代替可充电电池，因此也称作“电容电池”。超级电容器的充放电过程始终是物理过程，没有化学反应，正因为此超级电容器可以反复充放电数十万次。超级电容器单体容量范围通常0.1~1000F，实际使用时可以通过串联或者并联来提高输出电压或容量。电容的直接并联比较简单，整体耐压取所有单体中最低的。当超级电容器进行串联使用时，由于单体间的差异必然存在，需要考虑电压均衡问题。单纯的串联会导致某个或几个单体电容器过压，从而损坏这些电容器，使电容器组整体性能受到影响。

超级电容器与可充电电池的主要性能比较如附表所示。

那么在电子产品设计中，什么情况下可以用超级电容器代替可充电电池呢？在应用中与电池又有哪些异同点呢？通过本文对超级电容充放电测试曲线的分析应该可以找到答案。本文中试验选择的是2.7V/100F超级电容，在小型电容中代表性较强。

根据资料，该小型超级电容的最大充放电电流可达10A，2000mA还远没有达到放电电流上限。这说明超级电容的内阻低，大电流充放电能力强。

从以上的几条充放电曲线来看，充放电过程中，超级电容器两端电压变化剧烈，在恒流条件下电压与时间近似成正比关系。这个特性的好处是，电容中电量可通过端电压直接读出，而对于充电电池来说，电量的检测是很复杂的。但放电过程过大的电压变化是多数用电设备无法适应的，因此电容必须与DC-DC变换电路配合，输出稳定的电压供电路使用。

常用的低启动电压DC-DC变换电路有BL8505、BL8530、PT1301等，本文以常用的BL8530为例进行介绍，电路见图5。BL8530输出电压2.5~6V

图1是小电流恒流恒压充电曲线。75mA恒流充电至2.7V后进入2.7V恒压充电过程，在恒流充电过程中电压直线上升，没有像电池充电曲线中的电压平台区，表现出明显的电容充电特性。从这里可以看出，超级电容器的充电电路应类似于锂离子充电电池的充电电路，是一个恒流（至少应限流）——恒压的过程。

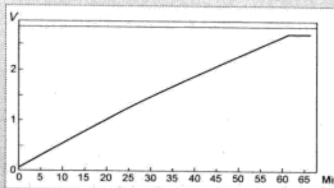


图1 超级电容小电流恒流恒压充电曲线

图2是75mA恒流放电曲线，显示容量为74mAh，这和电池容量的74mAh是有区别的，因为电容在放电过程中端电压变化太大，几乎没有电路可以直接利用此电压工作。在单体电容的实际应用中，当电容两端电压下降到0.6V后，其中的电能就很难再利用了。而电池的放电曲线中有很长时间的电压平台区，其容量是全部可以利用的。

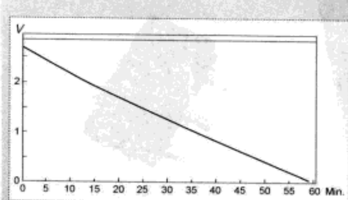


图2 超级电容75mA恒流放电曲线

图3是大电流恒流恒压充电曲线。2000mA恒流充电至2.7V后进入2.7V恒压充电，恒流充电所用时间为128s，充电完毕电容无明显温升，这说明超级电容的大电流充电特性优于充电电池。根据资料，恒流充电完成后储能即可达到其额定容量的95%以上。

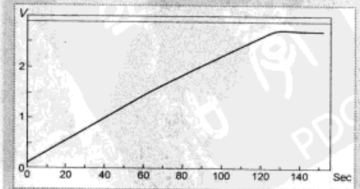


图3 超级电容大电流恒流恒压充电曲线

图4是2000mA恒流放电曲线。放电完毕电容无明显温升。放电时间127s，容量67mAh，相当于75mA小电流放电容量的91%。如果只计算0.6~2.7V之间的放电量，则相当于75mA小电流放电容量的97%（55.6/57.3）。而普通可充电电池在大电流时的放电容量通常只有小电流条件下的80%~85%。

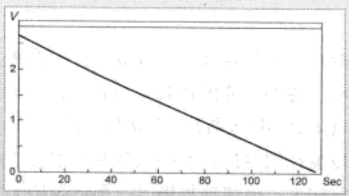


图4 超级电容2000mA恒流放电曲线

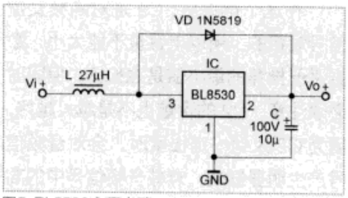


图5 BL8530应用电路

（0.1V步进），本文选用的规格为3.3V，SOT-89-3封装。

从图6中可以看出，在恒功率放电条件下，随着电容电压的降低，电容电流逐渐增大，因此电压下降越来越快。

在图6（b）的放电曲线中，初始阶段电压较平稳，在放电65min、电路输出电压低至3.25V后迅速下降。此时电容端电压为0.98V。如果视此时为放电结束，则容量相当于21.7mAh（3.3V）。

由此可见，在恒功率放电条件下，超级电容单体可以作为可充电电池使用。但要发挥出其大电流放电的优势，则必须利用电容器组和大功率DC/DC变换电路才能实现。超级电容器不同于电池，两者各有所长，在电路设计时应灵活应用。有时将超级电容器的功率特性和电池的高能量存储结合起来，不失为一种更好的途径。

附表

元件名称	充电速度	循环使用寿命	充电电路	大电流放电能力
可充电电池	慢	几百次	复杂	弱
超级电容器	快	几十万次	简单	强

图6是通过BL8530进行的恒功率放电曲线，3.3V稳压输出端负载电流20mA，相当于1颗小功率白色高亮度LED。图6（a）曲线为在电容端测得，图6（b）曲线是在BL8530稳压输出端测得。

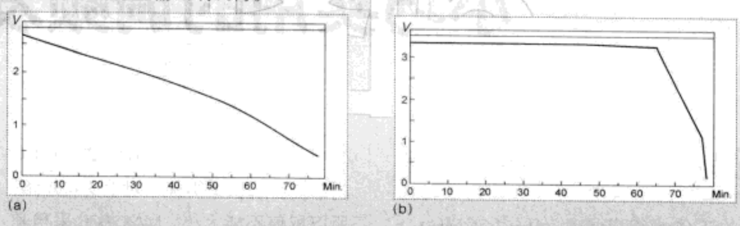


图6 通过BL8530进行的恒功率放电曲线

超级电容器电池使用注意事项

1. 超级电容器具有固定的极性，在使用前，应确认极性。

2. 超级电容器应在标称电压下使用，否则将会导致电解液分解，同时电容器会发热，容量下降，而且内阻增加，寿命缩短。

3. 超级电容器不可应用于高频率充放电的电路中。高频率的快速充放电同样会导致电容器内部发热，容量衰减，内阻增加。

4. 安装超级电容器后，不可强行倾斜或扭动电容器，这样会导致电容器引线松动，导致性能劣化。

5. 在焊接过程中避免使电容器过热，否则会降低电容器的使用寿命。

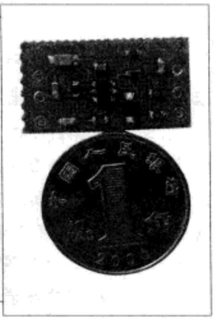
6. 将电容器串联使用时，存在单体间的电压均衡问题，单纯的串联会导致某个或几个单体电容器过压，从而损坏这些电容器，使整体性能受到影响。

ARRL《天线手册》内容简介

这本手册的内容非常丰富，总计28章的内容涉及了天线基础、天线建模与系统规划、多种应用天线、天线阵列、天线材料与附件、天线的接地系统与地面对天线和电波传播的影响、传输线、无线电波传播，以及天线与传输线的测量等，甚至包括了主要天线产品的供应商的概况。

美国业余无线电转播联盟《天线手册》自从1939年9月出版第1版以来，到本书已是第21版了，这充分说明这本手册的生命力。相信它也可以成为我国从事天线技术的科技人员、射频工程师以及相关大专院校师生的一本很好的天线参考书，为我国的天线技术的发展和天线人才的培养作出贡献。

相信很多无线电爱好者都做过调频发射类的电路，当收音机里传出自己的说话声或播放的音乐声时，那种美妙的感觉是无法用言语表达的。现在网上调频发射类的电路非常多，但是很多对于初学者来说，制作起来都有一定的难度，还有很多电路在元器件参数等方面介绍得不够清楚，或者电路本身就有问题。如果初学者一味地按照这些原理图去搭电路，制作成功的几率是比较小的。这里介绍一款简单易制的调频发射电路，采用专门的调频发射芯片，外围器件少，经过笔者验证，发射效果相当不错。



小巧实用的调频发射器

◎任杰

这款发射电路由专用的调频发射芯片MAX2606构成。MAX2606的工作频率范围为70～150MHz，覆盖了调频广播频段，工作电压为+2.7～+5.5V，工作电流小，适合于干电池或锂电池供电。芯片采用SOT23（6脚）的微型封装，常见图1，上面标示的字符为AABC。我们平时使用的带FM发射功能的MP3播放器用的调频发射芯片大都是MAX2606。

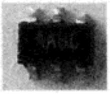


图1 MAX2606

一 电路工作原理

笔者用MAX2606制作的FM发射器电路原理图如图2所示。MAX2606第1脚接电感L1，对地构成谐振回路，在第3脚的直流电位确定时，该电感的电感量决定了压控振荡器的中心频率。MAX2606第3脚连接内部变容二极管的阴极，由R5、R6构成的分压电路使第3脚获得一个直流电压，该直流电压通过改变内部变容管的结电容来改变振荡频率。为了从简设计，笔者制作时省略了R5、R6，即第3脚无直流偏置电压，振荡中心频率处于一个较低的值。音频信号经R1、R2、R3、R4电阻网络衰减后也加到MAX2606第3脚，控制内部变容二极管的结电容，从而使得振荡频率随音频信号的强度而改变，实现了调频。其中，旁路电容C2使芯片的第3脚（即内部变容二极管阴极）对地交流短路，所以取值不能太小。MAX2606采用差分式输出，并且两个输出端都属于集电极开路型，因此使用时必须在输出端和电源之间接一个阻性的或感性的上拉元件。这里从简出发，使用了两个1kΩ的上拉电阻。MP3音频信号的转发器对输出功率没有多大要求，所以输出端没有采用匹配网络，射频信号直接通过一个电容耦合到软导线构成的天线发射出去。

二 元器件选择

在这个制作中，很多元器件的取值需要根据实际情况灵活改变，但改变必须符合电路原理。很多初学者在制作时，偶尔遇到一些手头上没有的元器件，就觉得不知所措，或者在制作时胡乱代换元器件，使得制作成功率大大降低。例如在这个制作中，R1、R2、R3、R4的作用都是对输入音频信号进行衰减，所以取值范围很宽松。在使用输出功率较小的音频设备（如MP3播放器）作音源时，图2中的取值比较合适，而如果音源的信号强度较大，比如功放输出，那就得增大R1、R2的值了。

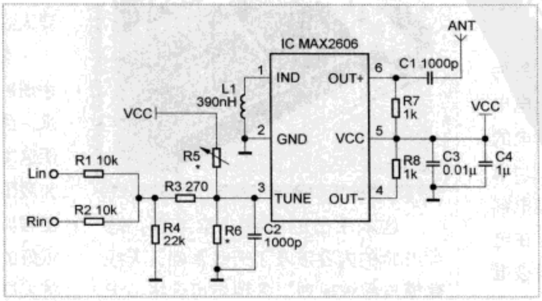


图2 电路原理图

在这个电路中，C2是对高频交流信号短路的，所以电容量不能太小，数据手册推荐的最小值是680pF。但同时必须注意，C2的容量也不是越大越好，因为C2大到一定程度时，会对音频信号产生明显影响，衰减音频信号中的高频分量。所以综合考虑，C2的取值在1000～3000pF比较合适。

最需要注意的元件是电感L1。电感器的制作与选用无疑是爱好者们最为头疼的问题。对MAX2606，采用标称电感量为390nH的电感很容易使振荡频率落在88~108MHz的范围内。为了简单，笔者一开始选用的就是0805封装的标称电感量为390nH的贴片电感。但是，这种贴片电感的*Q*值较低，会影响电路的相位噪声。为了获得高的*Q*值，电感可以用漆包线自行绕制，绕制的电感还可以通过改变线圈的匝间距来改变电感量，从而实现对振荡频率的调节。以往的电路中，绕制电感都会提供线圈内径与匝数，而这里却是给定的电感量。这种情况下，我们可以根据经验公

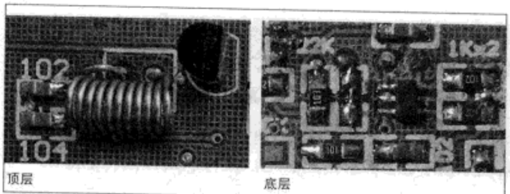


图3 在另一个MAX2606的制作中使用绕制的电感

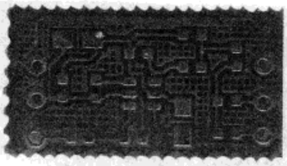


图4 空板

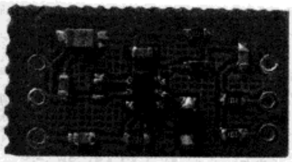


图5 焊好的板子

式计算各项参数。在以前做过的LC振荡电路中，根据实际信号频率估算，用如下方式绕制的线圈电感量接近100nH：

☆ 线径0.6mm的漆包线在直径3mm左右的骨架上密绕5圈脱胎制成；

☆ 线径0.6mm的漆包线在直径4mm左右的骨架上密绕4圈脱胎制成；

☆ 线径0.6mm的漆包线在直径5mm左右的骨架上密绕3.5圈脱胎制成。

当然，上述提供的方法仅是笔者实验估算，未经过任何的测量，仅供参考。同时提醒大家的是，空芯电感绕制时，最重要的参数是线圈内径、线圈匝数以及线圈匝间距，而绕线的线径相对不那么重要。只是为了使线圈有一定强度或者能承受一定的电流，线径不能太小。所以，大家在某个制作中并不需要精细到拿着卡尺甚至千分尺去测量线径是否符合要求。根据上面的方法，笔者试过，用线径0.6mm的漆包线在直径4mm左右的骨架上密绕11～13圈脱胎后得到的线圈就能满足这个电路的要求。图3所示为笔者在另一个MAX2606振荡电路中成功地使用了自制的线圈。

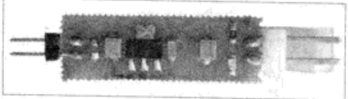


图6 用LMlll7-5自制的稳压模块

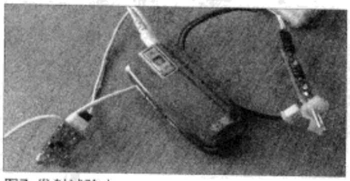


图7 发射试验中

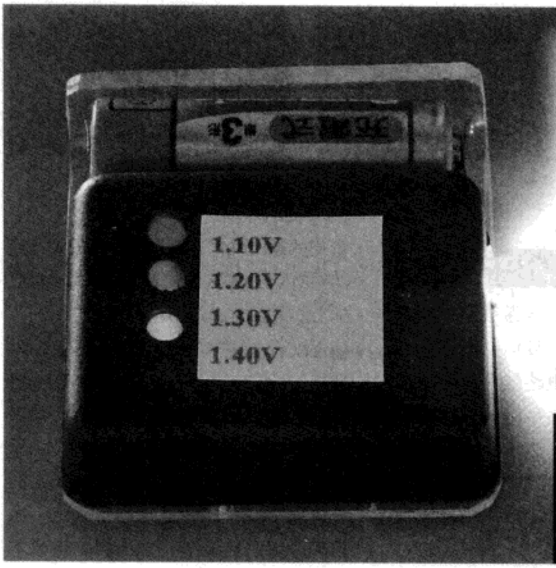
三 制作详解

由于MAX2606的封装很小，所以必须画PCB。当然，我们完全没有必要为了单独做一个电路就去厂家加工一块电路板，只需在平时做别的东西时取出板子上的一个边角，将这个电路画上去就是了。笔者的小板如图4所示，大小为20mm×12mm，不及一个小指头大。

一开始，笔者光顾着节省空间，选用了0603封装的容阻器，但后来制作时发现0603封装的器件比0805封装的焊接起来困难多了。特别是在PROTEL 99SE自带的元器件封装库里面，0603元件的焊盘特别小，焊接时，给的锡稍微多点，焊点就成了一个锡疙瘩。最后笔者选用了极细的焊锡丝，几经周折，焊出来的小板如图5所示，还算令人满意。所以，手工焊接时，建议选用的贴片元件封装以不小于0805的为合适。简单的几个元件焊接完毕后，就可以直接通电测试了。

MAX2606的工作电压为2.7~5.5V，可以用两到三节1.5V干电池或者是单节锂电池供电。限于笔者手头只有7.4V的锂电池组，所以使用了一个自制的稳压模块（见图6）。稳压模块的电路板也是在平时制作其他板子时用剩下的边角料制作的。笔者使用不同输出电压的LM1117制作了多种电压模块，LM1117是低压差线性稳压器（可以低至1.1V），在压差不大时，能够提供几百到上千毫安的电流，所以平时用这样的模块给一些小电流的设备供电，非常方便。这里笔者用的是LM1117-5，输出电压5V，当然对MAX2606来说，使用LM1117对应的3.3V与2.85V输出电压也是可以的。接上80cm左右软导线当天线。将输入端L_{in}、R_{in}接地，在天线输出端用示波器观察，可以看到完美的正弦波，频率为89.1MHz，峰-峰值约为30mV。由于笔者制作时省略了接在MAX2606上的分压电阻，所以一旦电感量确定，振荡频率就不能调节，加上固定电感本身的误差比较大，所以频率跟理论计算值有较大偏差。打开收音机，调到FM89.1MHz，底噪声很小（使用0805贴片电感）。输入MP3音乐信号，收音机里传出的音乐清晰、干净，几乎听不到杂声（图7为发射实验图片）。需要注意的是，MAX2606第3脚输入的音乐信号所需幅值很小，否则会造成失真，所以一开始MP3的音量不要开得太大，根据实际情况调节。

总的来说，MAX2606的效果是非常不错的，特别是外围电路简单，初学者大多能一装就成，其振荡频率可以通过改变第3脚的直流电压方便地进行调整。但MAX2606构成的调频发射电路与我们熟悉的BA1404相比也有一些不足之处，首先是输出功率上，在同样的电源电压（3V）、采用软导线当天线输出时，BA1404的发射距离比MAX2606的要远得多，即使在5V电压供电下，MAX2606的发射有效距离也只有几米。其次是电源电压，BA1404可以低到1.5V正常工作，而MAX2606的最低工作电压是2.7V。另外，BA1404具有立体声编码功能，而MAX2606只能实现单声道调频发射。



充电电池使用得越来越多了，我们大多碰上过这样的问题：面对一大把电池，不知道哪个有电哪个没电，更不清楚每个电池剩余电量有多少，是不是很伤脑筋？那就跟着本文做一款能随身携带的电池电量检测器吧，还可以用作户外的照明小手电哟！

便携式电池电量检测器

◎齐业璪

笔者常有这样的经历：我的照相机是长焦机，用4节5号镍氢或镍镉电池，外出照相总要带十几节。这十几节电池的容量、新旧程度和剩余电量不可能一样，经常照几张后就显示电量不足，而实际上这时可能只是4节中的一节没电而已，但是你不知道哪节没电，再换4节上去，照十几张后又会显示“电量不足”。如此这般，带了一大把电池，实际真正拍不了多少张，不但自己憋气，还饱受老婆的埋怨。回家后要是不管有电没电，不分青红皂白全充电，又会造成电池的记忆效应，容量下降。后来没办法，只好照相时带万用表去。电池用在其他地方也存在同样的问题，处处带万用表实在不方便，而且不是每个人都有万用表、会用万用表。为此，笔者设计了一款电池电量检测器，小巧便携，操作和指示都简单明了，有了它随时可以精确了解每个电池的电量，而且这个电路本身无源，测量时使用被测电池为电源，不测量时不耗电。有了这个检测器，检测电池电量变成随手简单的事（包括普通家用碱性电池），外出照相电池利用率大大提高，再不用鼓鼓囊囊地带万用表了，而且带了它还等于带了个手电筒，对出门在外旅行很有用处，偶然出示同伴，还能招来驴友们羡慕的目光。

一 电路原理

电路如图1所示。它分两部分：一部分是以T1、VT1为主电源升压部分，另一部分是以IC1为中心的电压比较、指示电路。

因为电路本身没有电源，要靠被测电池供电，而被测电池最低可低至1V，不能使电压比较、指示电路工作，故要把电压升至4V以上，而且要求比较稳定。T1、R1和VT1组成简单的升压型自激振荡电路，在VT1截

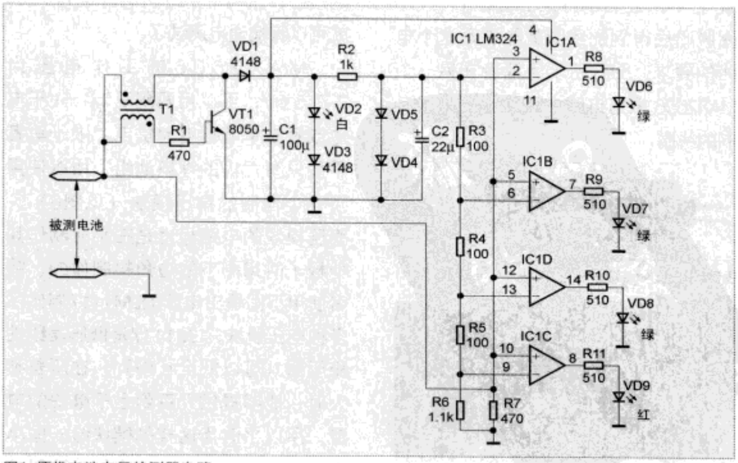


图1 便携电池电量检测器电路

附表

发光二极管状态	被测电池电压	电池状态
VD6绿色灯亮	高于1.4V	刚充足电
VD7绿色灯亮	高于1.3V	电量充足
VD8橙色灯亮	高于1.2V	电量已不多
VD9红色灯亮	高于1.1V	电量已完

止期，T1次级线圈上的感应电压与被测电池电压叠加，经VD1整流，C1滤波，VD2、VD3稳压，产生约4.2V稳定电压，VD2为白色LED，正向导通电压约3.5V，而且导通曲线较陡，在这里可当作稳压管。但如仅3.5V加至IC1，由于LM324内运算放大器的输出管压降的原因，输出高电平只能达到1.7V，不能点亮正向导通电压1.8V的发光二极管VD6~VD9（或亮得极暗），故加了一个VD3，将电位垫高0.65V。这样，尽管被测电池从1V到1.5V不同，C1两端基本保持4.2V左右不变。

被测电池接入后，流经VD2的电流约10mA，VD2发出明亮的白光，故本机还能当手电筒用。

IC1在这里当作电压比较器用，IC1A~IC1D四个运算放大器的负输入端分别接入不同的基准电平，分别是1.4V、1.3V、1.2V和1.1V。因为这个电压要求更加稳定，所以用R2、VD4、VD5和C2对C1上的电压进行再次稳压，使IC1的第2脚稳定在1.4V上。其他运算放大器的负输入端的基准电平由R3~R6分压取得。被测电池的正端并接在各运算放大器正端，其电平超过哪个放大器的负端，该放大器就输出高电平，点亮相应的发光二极管。

根据发光二极管状态，判断被测电池的状态，如附表所示。

如果被测电池接入后，所有的指示发光二极管都不亮，甚至白色发光二极管都不亮，说明该电池已完全没有电。这是镍氢、镍镉充电电池应避免的现象，应立即充电恢复，如果还是充不进，说明电池已报废。

二　元件及制作

T1用外径9mm、内径6mm的磁环（可以从废旧电子日光灯镇流器上拆下），以0.2mm左右的漆包线双线并绕20圈，接时要注意同名端。VT1的放大倍数要大于150。

调整R1可以改变电源升压部分的工作电流，在50mA左右。因为电压比较、指示电路电流很小，随被测电池的不同，整个电路耗电在50~70mA范围。这正是它比万用表测电池的优越之处：万用表的内阻大，对被测电池负载小，内阻大的电池就测不准确，一些内阻大（容量小）的电池用万用表测好像电压很足，但一接负载，大的电流在电池内阻上的压降使电池端电压立即下降，这就是为什么有的电池用万用表测电池电压充足，但实际一使用就显示“电量不足”的原因。因此，用本检测器测比万用表更能反映电池的真实电量。

VD4、VD5在这里也当稳压管用，利用硅二极管的正向导通压降，串联得到1.4V稳定电压，以此及分压后作为各个比较器的基准电压。但实际上，精确的正向导通压降应该为0.7V，但这样的二极管并不好找，一般普通硅二极管都在0.6~0.65V。我发现稳压二极管的正向导通压降在0.7V左右，我是经过测量选择了两个稳压二极管得到1.4V的。如果很难找到该元器件，就在两个4148二极管上并串接一个小电阻，调这个小电阻的阻值，使C2两端为1.4V即可。

IC1 LM324是运放，当正端输入电压在其负端基准电压附近时，就进入它的放大区，这时其输出的指示发光二极管亮度不同，可以根据这个亮度更精确地判断电池的电压。比如说，刚到1.2V，VD8较暗；很接近1.3V，VD8较亮。当然可以用真正的比较器LM339，这时发光二极管明暗变化就很清晰。

图2、图3是该检测器的实物照片。

图2 电池电量检测器外观

图3 电池电量检测器内部实物

制作中的好帮手——数字电压表头

©ksysl

笔者在进行各种电子制作（电源、电子负载、测量电池等）时，常常需要显示电压、电流等，虽然有时可以用万用表临时来代替，但总觉得不是长久的办法。电子市场上卖的数字电压表头要三四十元一个，本来就爱好动手制作电路，于是笔者考虑自己制作，日常DIY时用处多多。

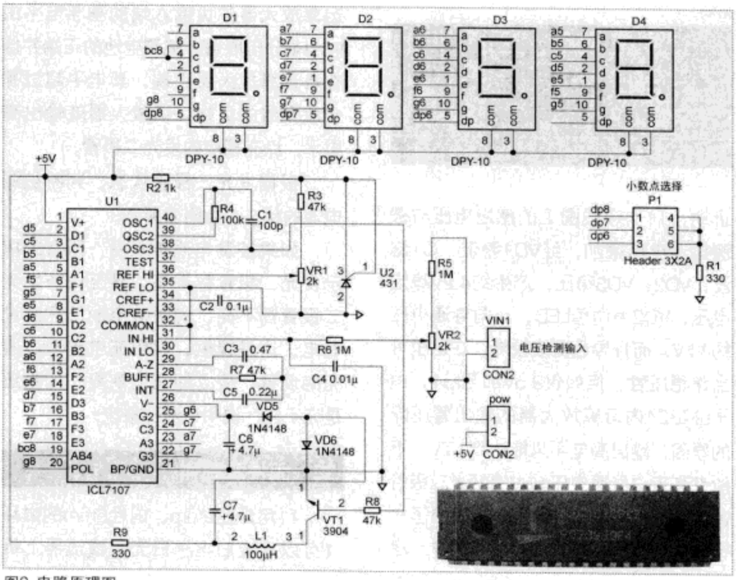


图2 电路原理图

图1 ICL7107芯片实物

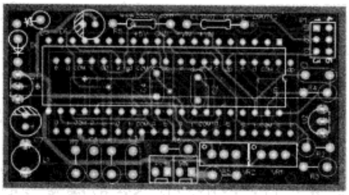


图3 PCB图

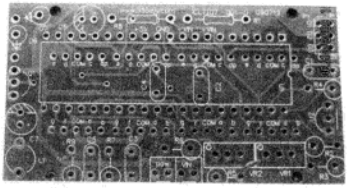


图4 PCB实物

电子市场上卖的数字电压表头大多采用ICL7107芯片来制作，笔者在网上查了一下ICL7107的资料（这年头网络发达，做什么事都方便，真不知道没有网络，世界会是什么样），ICL7170有2种封装，其引脚不同，其中40PIN直插封装使用得普遍一些，买起来方便。

ICL7107是高性能、低功耗的三位半A/D转换器电路，它包含有七段译码器、显示驱动器、系统时钟等，并且ICL7107可以直接驱动共阳数码管。实体图见图1。

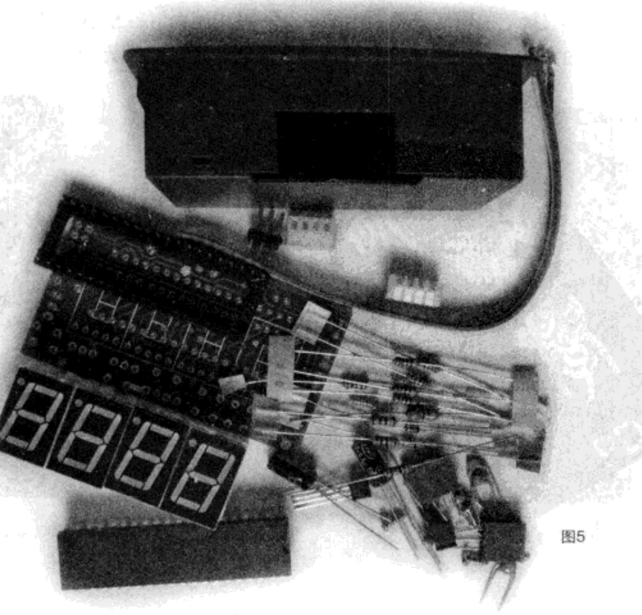


图5

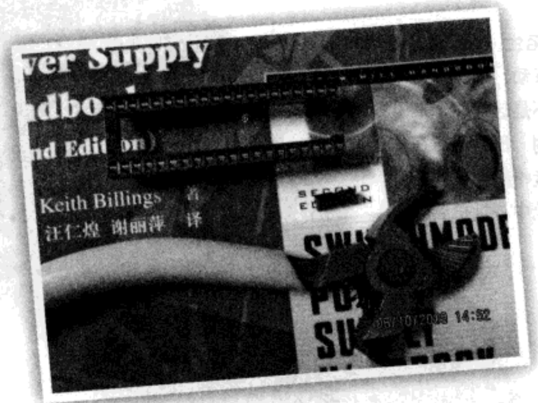


图6 处理后的IC座

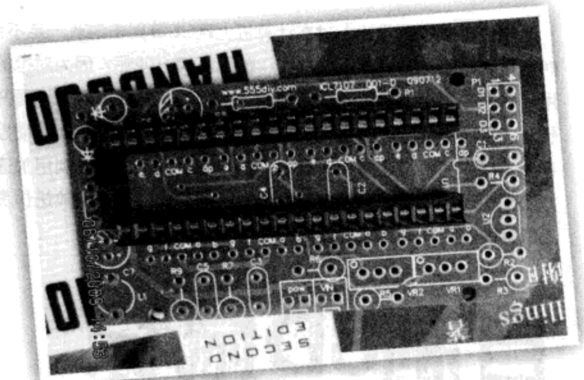


图7 将IC座插入PCB

芯片正面小圆点对应的是芯片的1脚，按照反时针方向去走，依次是第1~40 引脚，安装的时候一定要注意引脚的对应关系。

笔者整理了一下原理图，如图 2 所示。设计的 PCB 如图 3 所示，是双面的。

制作数字电压表的表头框在电子市场上可以直接买到。

笔者发到工厂订做的PCB见图4，订做用了大概一个星期时间。

配齐元件(见图 5),准备焊接测试。

焊接开始后，要注意元件的焊接顺序，否则个别元件不容易焊好。

首先，将40PIN的IC座处理一下，用钳子将IC座的一边拆下不用，如图6所示。然后将IC座插入PCB，并焊好，见图7。

接着焊接C2和C4，并将这2个电容卧倒安装！接下来焊4个共阳的0.56英寸数码管，注意不要焊反。

剩下元件的焊接顺序就没什么讲究了，想焊哪个就焊哪个。焊完后就变成如图8所示的样子。

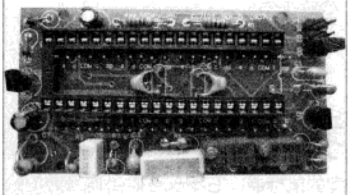
将ICL7107插入IC座，注意方向，表头就基本制作完成了。将自制的可调电源（制作方法参见2009年第6期杂志的《0~30V可调电源制作》一文）调到5V，接入表头。用万用表测量ICL7107的26脚电压，应该为-2.5~-4V，因为VD5、VD6、C6、C7、R8、R9、VT1、L1组成负电压产生电路，如果没有这个负电压，显示就会出错。

接着，要调ICL7107的36脚电压，这是给IC的基准电压，调整RP1可调电位器，使36脚电压为100mV。

在标准电压源未接入的情况下，数码管应该显示000，如果最后一位会跳到1，那可能是因为你的手直接拿着PCB的，此时把表头装进壳里再观察显示。笔者使用的标准电压源电路是一款成品可调电源，将标准电压源调整到一个固定值，如果此时显示的电压值和标准电压源的电压值不一样，调整RP2，使其显示正确。再将标准电压源调整到其他值，看表头显示是否正确。如此反复调整，直到其线性显示在接受的范围内。笔者的经验是：将标准电压源调整到表头显示的最大值，此时调整显示的话，线性会比较好。笔者制作的这款表头的电压测量现实范围为±199.9V，日常的测量都够用了。还有，别忘了小数点选择，在P1的VD3位置用短路片短路即可选择。

工作中的表头如图9所示。

ICL7107的27、28、29引脚的元件接0.22μF、47kΩ、0.47μF阻容积分网络。当量程用作±1.999V时，27、28、29引脚的元件更换为0.22μF、470 kΩ、0.047μF阻容积分网络，并且把 36 脚基准调整到 1.000V，就可以使用在±1.999V 量程了。


焊接元件的一面

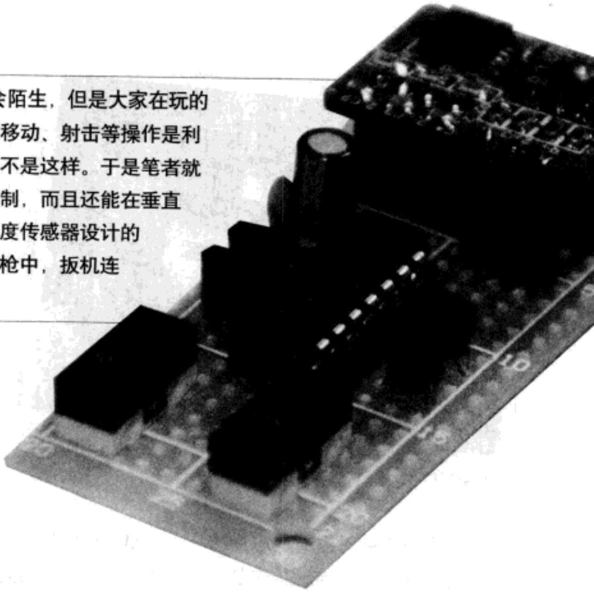
数码管的一面

图8 焊接后的板子

图9 工作中的表头

这种数字表头在平时应用中范围很广，稍加修改就可以显示电流、温度、压力等。

相信喜欢玩游戏的人对在计算机上玩CS等射击游戏一定不会陌生，但是大家在玩的时候是否常感觉到操作不够真实、使用不够方便呢？因为对枪的移动、射击等操作是利用“趴”在桌面上鼠标的移动和点击实现的，然而真实的场面并不是这样。于是笔者就想，能否做一种鼠标出来，它不仅能够在水平方向上来回移动控制，而且还能在垂直平面上操作呢？经过翻查大量的资料，笔者想出了一种利用加速度传感器设计的方法来实现这种功能，读者只需把做好的“鼠标”电路放进仿真枪中，扳机连上鼠标的左键开关就能够在计算机前玩真人CS啦。



自制3D鼠标

——让鼠标脱离桌面实现控制

◎陈天宇

我们平时用的鼠标只能够在桌子平面上运动，而3D鼠标是一种新型的鼠标器，它不仅可以当作普通的鼠标使用，而且具有以下几个特点：

(1) 具有全方位立体控制能力。具有前、后、左、右、上、下6个移动方向，而且可以组合出前右、左下等的移动方向。

(2) 功耗很低，外形可以比普通鼠标更小巧，使用更灵活。

本电路主要采用的是MMA7260加速度传感器，这是一个3轴的加速度传感器，当传感器感受到外界加速度的变化时便会输出3组3维与加速度大小成正比的电压信号。这3个电压信号进入单片机A/D转换器，转换成数字信号，然后经单片机处理产生鼠标移动的时序信号，通过PS/2接口传给计算机。

表1

g-Select1	g-Select2	量程范围	灵敏度
0	0	1.5g	800mV/g
0	1	2g	600mV/g
1	0	4g	300mV/g
1	1	6g	200mV/g

一　3D鼠标电路构成

本电路主要分成3部分，一部分是加速度传感器的外围电路，另一部分是3.3V供电电源以及鼠标与计算机的PS/2接口电路，最后一部分是MSP430F2013单片机的最小系统。MSP430系列的单片机可以说是微控制器中的“环保之星”了，之所以说环保是因为它能够节省我们宝贵的电能，是业界上功耗最低的单片机之一。

MSP430单片机不仅有超低的功耗和出色的运算性能，而且有一个高精度AD转换器，这是3D鼠标能够准确快速把传感器的输出信号转换成数字量进行处理的基础，是本电路设计的关键。电路如图1所示。

二　MCU最小系统设计

MSP430中的F2XX系列具有灵活的时钟系统，其芯片内部集成增强型的DCO（数字控制振荡器），并且其频率可以被设定为0～16MHz之间任一数值，这样单片机电路便可在没有外部晶振或时钟下正常工作，既降低了成本，又减少了电路的体积，并增强了电路的稳定性和抗干扰能力。只需要分别给Vcc接上+3.3V和Vss接上地，MCU的最小系统便可按照设定的程序运行。

三　加速度传感器电路设计

本电路采用MMA7260加速度传感器，由于MMA7260的集成度很高，芯片内部已经集成了温度补偿、信号调理等电路，因此芯片外围电路也十分简单。X-out、Y-out、Z-out分别为加速度传感器的3个输出端，输出信号大小与其对应轴上的加速度成线性关系。为了防止高频干扰信号进入单片机的AD转换器，笔者特意在信号输出端分别加上了一阶RC低通滤波器。另外，MMA7260还有2个引脚可以设置不同的量程，电路中此功能是由一个拨动开关来实现的，用户可以根据实际情况来选择不同的量程与灵敏度，设定方法如表1所示。

四　电源及PS/2接口电路设计

由于在PS/2接口中有提供+5V的接口电源，同样的，与电脑通信的信号线也是+5V电平信号，但是MSP430和

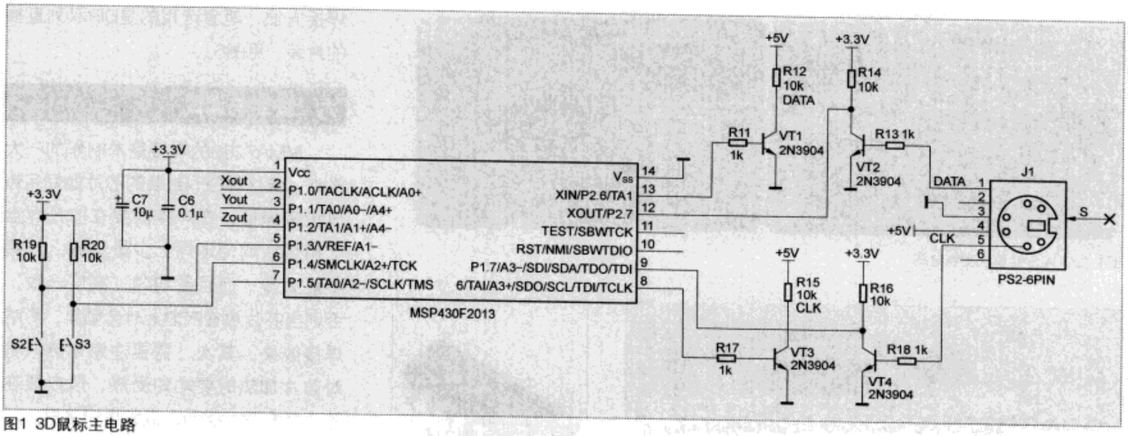


图1 3D鼠标主电路

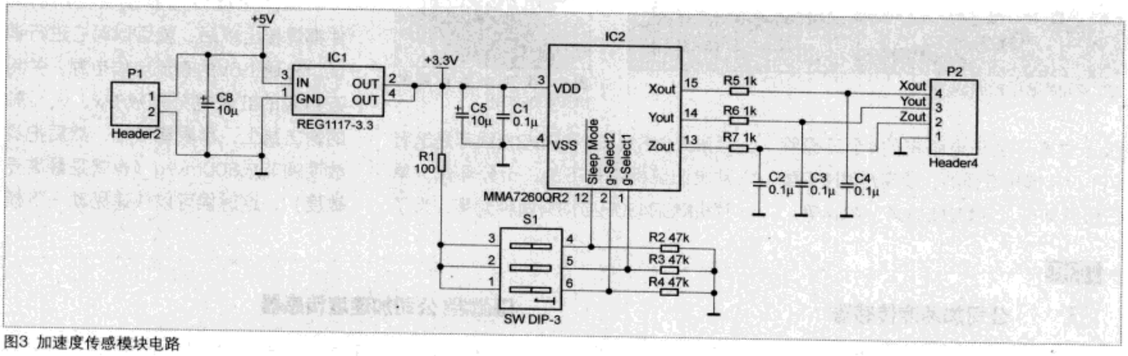


图3 加速度传感模块电路

MMA7260都是3.3V供电和3.3V电平通信的。为了解决这个问题，笔者采用了以下方法：

在电源上采用LDO芯片AS1117和若干个电容构成一个5V转3V的线性稳压电源，而电平转换方面则是是采用一对三极管来实现此功能，原理如图2所示。图中左边是3.3V电平的MSP430单片机的两个I／O口，分别设置成输出和输入，右边是电脑5V的PS/2接口。当单片机的IO1输出高电平3.3V时，三极管的U_{be}远远大于三极管的饱和压降，于是此时三级管VT1饱和导通，DATA端的电压接近于0V，所以输出的是低电平。如果IO1输出的是低电平，U_{be}为0V，三极管处于截止状态，这时DATA端就相当于接上一个10kΩ的上拉电阻，其电压处于5V，是高电平。

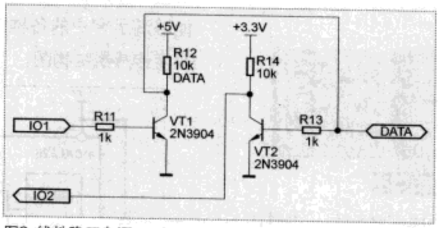


图2 线性稳压电源

由上面分析可知，这个电平转换器其实是一个反相器，因此在对单片机编程时需要注意这点，要把电平信号取反才会得到原来的信号。同理，当DATA端为输出时，首先把IO1设置成低电平，把IO2设置成输入，就可以通过IO2来判断DATA的电平信号了。

五 元件的选用

电路中的IC1、IC2分别是芯片AS1117-3.3和MMA7260，笔者都采用的是贴片封装，尤其是MMA7260，采用的是QFN封装，如图3所示。

这种封装并没有一根根的引脚引出芯片外部，它采用的是焊盘结构，把一个个的焊盘放在芯片下方，所以很难在万用板上焊接，为此笔者特意设计了一个加速度传感器的模块（电路见图3，实物图见图4）。这样，一来方便焊接，二来这个模块日后还能运用到其他制作中去。

本电路所有的电阻和小电容都是采用0805封装的贴片电阻和电容（见图5），而10μF的电容采用的是1206封装的钽电容。这些电容、电阻无论焊接到万用板还是自己做的PCB上都十分容易，而且体积适中，非常节省

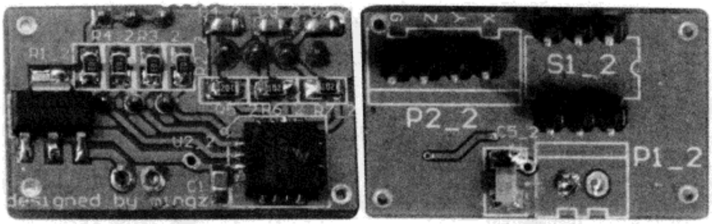


图4 加速度传感模块实物电路

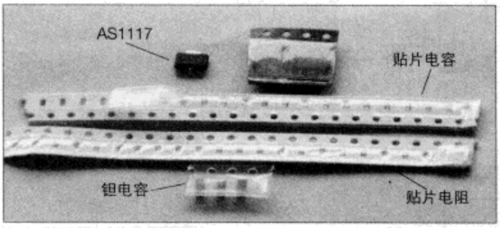


图5 采用的贴片电阻和电容

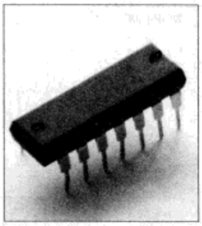


图6 双列直插封装的MSP430F2013

板上位置。至于电路中的4个三极管VT1~VT4选用直插的、较高β值NPN型三极管即可，例如2N3904、9014等。

轻触开关S1、S2和PS/2接线都是笔者从废旧鼠标中拆下的，十分环保。单片机MSP430F2013有两种封装，为了焊接方便，笔者选用的是DIP双列直插的封装，见图6。

六 安装与调试

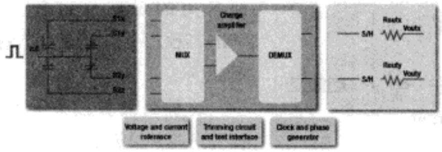
MMA7260的焊接是本制作的一大难点，像这种QFN封装的芯片最好用热风枪来焊接，在焊接前要在芯片焊盘上用烙铁均匀地焊上少量焊锡，焊锡不能太多，而且要均匀，高度一致，否则当芯片放在PCB上时会倾斜，影响焊接效果。其次，需要注意用热风枪对芯片加热时要均匀受热，风口要在芯片上方不断摇动，直到焊锡溶解。

当加速度传感器模块上所有元件都焊接上以后，就可以对它进行调试。先通上5V的直流电作电源，并用万用表的红表笔分别放在*x*、*y*、*z*轴的输出端上，黑表笔接地，然后把灵敏度调节成800mV/g（也就是最高灵敏度），这时候可以快速晃动一下模

Tips1

ST 公司加速度传感器

意法半导体公司生产的3轴加速度传感器主要有2种输出模式，一种是模拟信号输出，另一种是以SPI或IIC接口的数字格式输出。

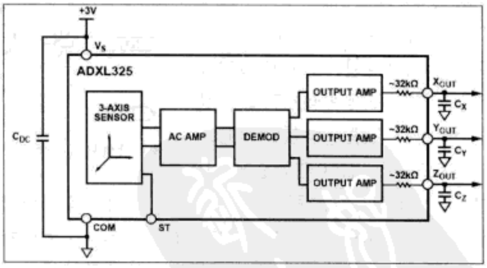


这是ST公司模拟加速度传感器的内部结构图，主要由3部分构成，参考电压和电流电路，调理整形电路，时钟和相位发生器。其主要特性：

1. 量程可选：±2g/±6g
2. 正常操作模式下电流消耗小于0.5mA，关断模式下电流消耗小于1μA
3. 最大带宽2kHz
4. 分辨率优于0.5 mg @ 100 H
5. 温度稳定性极高:0.2 mg/℃
6. 宽工作温度范围:-40~+85℃
7. 内置自检功能
8. 抗震能力强:可承受0.1 ms的10 000g撞击

ANALOG DEVICES 公司加速度传感器

Analog Device是世界上最先推出基于MEMS技术加速度传感器的公司，其具有丰富的加速度传感器的产品线，能够满足客户的各种需求。下面是ADXL325的模拟三轴加速度传感器结构图：



芯片特性：

1. 4 mm × 4 mm × 1.45 mm LFCSP 的细小封装
2. 低功耗：典型值为350μA
3. 宽范围的工作电压：1.8~3.6V
4. 抗震能力强:可承受10 000g的撞击
5. 良好的温度稳定性
6. 输出带宽可选，以适应不同工作情况

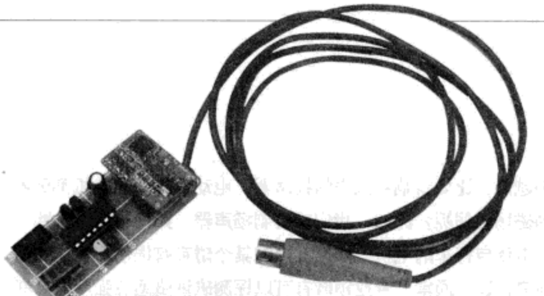


图7 制作好的3D鼠标电路实物

块，如果输出的电压有变化，则模块工作正常。

如果加速度模块工作正常，就可以把所有的元件都按照电路图在洞洞板上焊接起来，并向单片机烧写程序。制作好的电路实物见图 7。因为 F2XX 系列的单片机支持 SPY_BY_WIRE 的两线下载调试方式，所以程序下载调试都十分方便，通过 IAR 公司的 IDE 环境，可以很轻松地完成程序的编写，编译、下载、调试等的所有工作。

如果你把上面所介绍的步骤都顺利完成了，那就恭喜你啦，你可以把鼠标插入电脑的PS/2接口，并打开电脑，开始享受3D鼠标所给你带来全新操作体验了。

后记：笔者制作的这个3D鼠标打破了鼠标只能在桌面上的2D范围内运动的局限，把鼠标的运动范围扩展到空间，使鼠标的操作方式更加多样、更加灵活、更加方便。有兴趣的读者欢迎一试！本制作所需相关程序可到《无线电》网站下载。

Tips2

MMA7260三轴加速度传感器简介

MMA7260是freescale公司设计的一种微机械电容式3轴加速度传感器，芯片内部带有一阶低通滤波器和温度补偿电路，以确保芯片输出的准确性。此芯片被广泛应用于振动检测，惯性导航，安防和手持设备游戏设备的操作。

MMA7260特性：

1.灵敏度可选（1.5g/2g/4g/6g）

2.低功耗（500μA，休眠3μA）

3.低工作电压（2.2~3.6V）

4.6mm x 6mm x 1.45mm QFN封装

5.高灵敏度 (800 mV/g @ 1.5g)

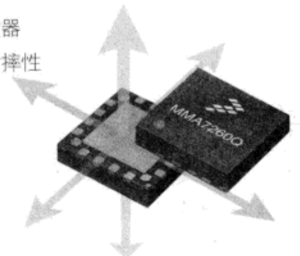
6.快速启动

7.内部拥有低通滤波器

8.鲁棒性的设计，耐摔性

9.无铅封装

10.低成本



Media TECHNOLOGY 传媒典藏

人民邮电出版社《高保真音响》杂志社

高保真音响 www.hi-fi.com.cn

联合全球著名传媒图书出版社Focal Press 2009巨献

倾听大师的声音

音频技术与录音艺术

书号：19359 定价：180元

书号：20948 定价：45元

书号：20920 定价：68元

书号：20087 定价：78元

书号：19148 定价：48元

书号：19039 定价：58元

书号：18556 定价：180元

前言：类似磁铁这样的永磁材料在我们的日常生活中应用越来越广，比如音响系统中的扬声器、电动自行车的电机都离不了磁铁，磁铁的强弱直接影响着它们的性能，我们如何知道磁铁的磁场强弱呢？比如，我们想自制扬声器，如何检测所选购的磁铁是否标准，制作后如何检测出扬声器的漏磁情况？再比如，电动自行车的电机，如果其中的某个磁瓦有损伤，我们如何把它鉴别出来，在买新磁瓦的过程中我们如何检测出新磁瓦是否强度合适？通常，专业领域有可以探测磁铁磁感应强度的高斯计，不过市售价格一般都在千元以上，对于要求不高的场合，自制高斯计是一个不错的选择。

测测磁场有多强

——用模块法自制简易高斯计

◎王超

笔者是一个电子兼磁铁爱好者，自制了一款简易的高斯计，该高斯计电路采用UGN3503U线性霍尔效应传感器，虽然它只能检测实际磁感应强度某一方向的分量（实际的磁感应强度在传感器检测面上的分量），即检测的是单轴磁场而并不是空间某一点的实际磁场大小，但对于平时测测扬声器漏磁、电动自行车电机磁瓦损坏等情况，基本能满足要求。

笔者用模块化的方法来搭建的这个高斯计电路，主要分为4大部分，即：磁场测试电路模块、电源模块、磁场方向指示模块和绝对值电路模块。大家可以根据自己的需求，选择其中的模块进行制作。

模块一 磁场测试电路模块

电路见图1，整个电路可分为磁场探测器、电压跟随器、反相比例放大器、反相输入求和器4部分。

因为传感器IC1（UGN3503U）在没有外加磁场的情况下已经输出2.5V的电压信号，在外加磁场的情况下，输出的电压信号是在2.5V基础上变化的，所以如果你直接把IC1的输出端加在数字万用表的直流电压挡时，万用表的电压信号会在2.5V基础上增大或变小。如果增大，说明你检测的是S极，如果减小，说明你检测的是N极。如果你没有检测到磁场，则万用表的示数为2.5V。

放大器A1对IC1的输出信号进行跟随。放大器A2构成反相比例放大器，它的作用是充当调零电路，使整个高斯计在无外加磁场时输出信号为零。A3构成反相求和器，它将A1与A2的输出信号求和，并将求和后的信号反相放大，放大系数由增益电位器决定，即可以通过调节增益电位器来改变高斯计的输出电压范围。因为A3构成反相求和器，所以输出信号*U*0的相位与输入信号*U*1的相位相差180°，这意味着如果你

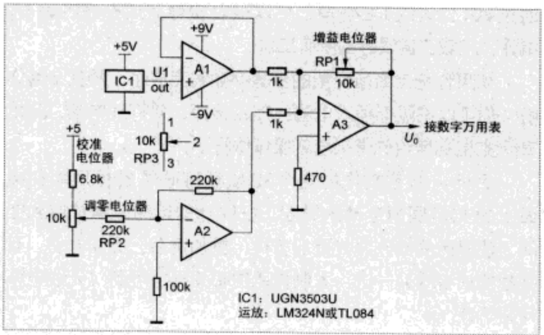


图1 磁场测试模块电路

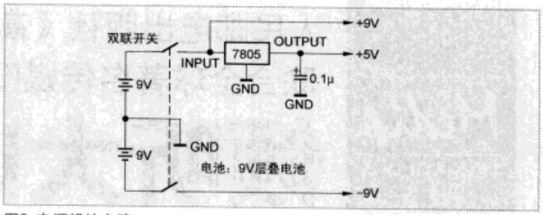


图2 电源模块电路

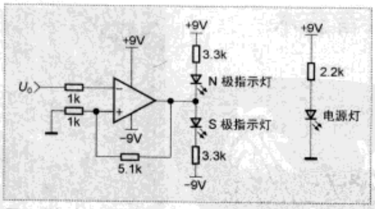


图3 磁场方向指示模块电路

图5 UGN3503U

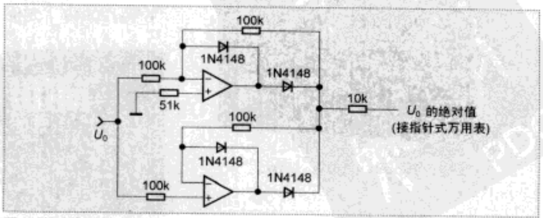


图4 绝对值模块电路

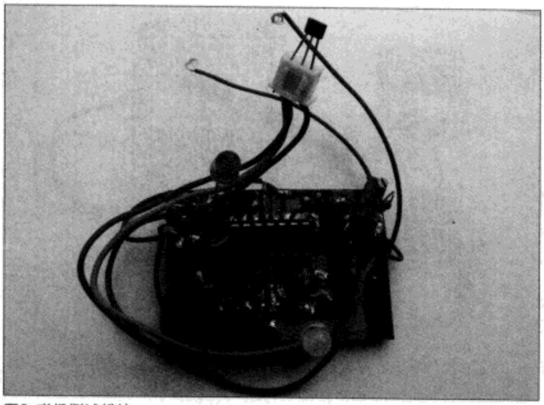


图6 磁场测试模块

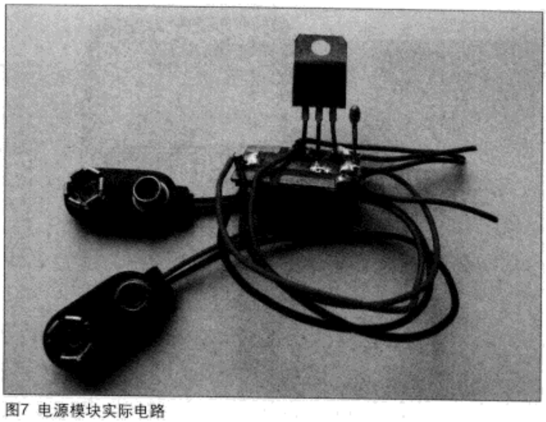


图7 电源模块实际电路

检测的是N极，高斯计的最终输出$U0$为正值，如果是S极，最终输出$U0$为负值，这恰恰与你直接用数字万用表接IC1输出端的情况相反。

制作完成后，把 $U0$ 加在数字万用表的直流电压挡上，此刻你的高斯计就已经大功告成了，现在只剩下校准了。

1. 把数字万用表调到直流电压挡，你可以选择量程大于7V的任意一个电压挡（与7V越近越好），把$U0$接到表上，然后调节基本电路模块的增益电位器RP1，让增益达到最大值（表上示数最大）。

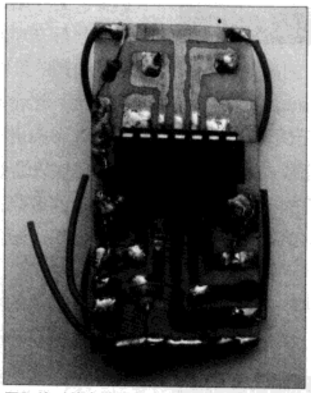


图8 绝对值电路模块实际电路

2. 调节调零电位器，让数字万用表的示数为零（此时传感器IC1应该远离磁场），这一步的作用是使高斯计在未检测到磁场时，数字万用表的示数为零。

3. 断开IC1输出端（Out端）与A1正相输入端的连接。

4. 另找一10kΩ电位器RP3（校准电位器），将此电位器的可变电阻端2与A1的正相输入端相连，并将此电位器余下的两个固定电阻端1、3分别与+5V和地相连。

5. 将数字万用表从高斯计的输出端拆下来，并测量电位器RP3的可变电阻端2与地之间的电压。

6. 调节电位器RP3使数字万用表的示数为1.409V，然后去除数字万用表。

7. 把数字万用表接到高斯计的输出端U0上，调节增益电位器，使数字万用表的示数为+5.00V。

8. 去除电位器RP3，并把IC1的输出端（out端）与A1的正相输入端重新相连接。

9. 此时已校准完毕。如果你现在用传感器检测一块磁铁，若数字万用表的示数为1.00V，这说明此处的磁极为N极，磁感应强度为200Gs（200×1），若数字万用表的示数为－1.00V，说明此处的磁极为S极，磁感应强度为200Gs（200×1）。总结一下，若示数为正，则为N极，示数为负，则为S极。磁感应强度值为输出电压示数乘以200。

基本电路模块已制作完毕，因为传感器的探测范围为－1000～1000Gs，所以如果你的磁铁过强，传感器的输出电压会达到饱和值。此时你可以拉开传感器与磁铁的距离，数字万用表的示数会大幅度下降。虽然量程有点窄，但如果你让传感器与磁铁保持一定的距离（此时磁铁的磁感应强度下降了很多），这个简易的高斯计就可以正常工作了。UGN3503U的灵敏度为1.3mV/Gs，最高可探测23kHz的电磁场。如果你有兴趣，你可以把输出信号$U0$加在示波器上，这样就能轻松地看到磁场的变化了。

模块二　电源模块

电源电路见图2，由于基本电路模块需要正负双电源，所以用两节9V层叠电池是一个不错的选择。再加上一片7805，整个电路所需的电源就完全解决了。

模块三　磁场方向指示模块

电路见图3，把基本电路模块的输出电压$U0$加在磁场方向指示模块的输入端后，就可以根据磁场方向指示模块的指示灯来判断磁场的磁极了。这样观测就更直观了。如果红色指示灯亮，则所测磁极为N极，绿色指示灯亮，则所测磁极为S极。

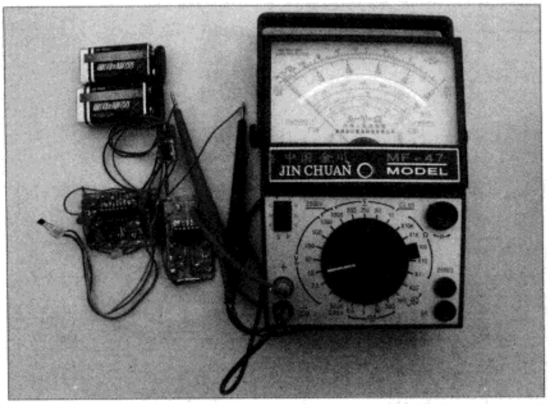


图9 连接指针万用表使用时需要将4个模块连接起来

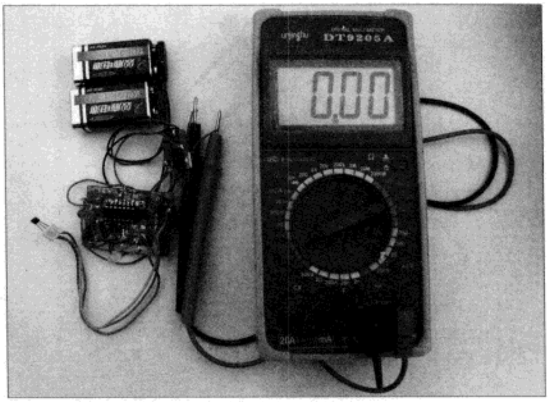


图10 连接数字万用表使用时只需要模块一和模块二

模块四 绝对值电路模块

电路见图4，在有些情况下，使用指针式的高斯计要比数字式的要好，因为你可以清楚地看到磁感应强度的变化。然而如果你把基本电路模块的输出电压*U*0（范围：-5.00~5.00V）直接加在一个指针式万用表上，你的指针式万用表可能会受损，因为多数指针式万用表只能显示正的电压值，而*U*0可以是负的电压值。因此可以先对*U*0取绝对值，再将取过绝对值的输出信号加在指针式万用表上。可你不要忘了，磁极是有方向的，你只有配合磁场方向指示模块才能知道现在所测磁场的极性。

制作说明

电路中的运放，笔者建议使用LM324N。LM324N由4个独立的运放组成。如果你有更高的要求，TL084是一个不错的选择。为了给读者一个自由的发挥空间，我并没有把具体的引脚号标在运放上，在制作前请您查询IC的数据手册资料，明确引脚的具体作用后再进行制作。

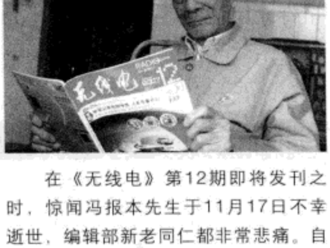
因为这个高斯计电路比较简单，它的测量范围窄，所以不建议大家用它直接来测钕铁硼磁铁表面处的磁场，因为钕铁硼磁铁表面处的磁感应强度可能大于5000Gs，远大于我们高斯计的量程，并且过高的磁感应强度对传感器也有或多或少的损伤，还会使传感器产生磁滞效应，即使你已经让传感器远离磁铁了，但表头的示数并没有相应减小。

各模块的实物电路见图6~图8，各模块配合指针式万用表和数字万用表的连接方法见图9、图10。

这款高斯计非常简单，通过这些模块，我们可以了解很多基础的运放应用模块，并且可以在这个高斯计电路的基础上再添加一些模块，比如峰值保持模块，以完善其功能。

希望大家经过我的抛砖引玉，让这个有趣的制作更完善。

《无线电》著名作者冯报本先生逝世



在《无线电》第12期即将发刊之时，惊闻冯报本先生于11月17日不幸逝世，编辑部新老同仁都非常悲痛。自1957年起，冯报本先生为《无线电》杂志撰写了《单管收音机》、《直流三管机》、《调频超再生式二管机》、《来复式半导体管单管收音机》等大量经典的科普文章，将自己所学的技术知识、实践中所得的经验都毫无保留地奉献给了读者。冯报本先生的文章通俗易懂、生动活泼、非常实用，成为当时普及无线电技术的范文。他撰写的文章和书稿不仅激发了广大青少年学习无线电技术的兴趣和热情，也影响和帮助了一大批热爱无线电爱好者走入了电子行业的大门，他还为电子技术人员的学习和发展提供了非常有益的引导。冯报本先生不仅作为资深作者，深受读者欢迎，而且也因是无线电爱好者的老师和朋友深受崇敬。

2007年，距冯老在《无线电》发表文章50周年之际，《无线电》的老主编李军、现任主编黄彤和执行主编房桦等专程赴广东看望了这位令人尊崇的著名作者。当时，年过八旬、精神矍铄的冯老告诉我们，他还一直在看《无线电》杂志，关注电子技术的发展，并委托我们表达他鼓励青少年读者培养兴趣爱好、学习电子技术知识的殷切愿望，他的这份期望令我们感动不已。

现在，冯老虽已离我们逝去，但他对无线电技术执着追求和对普及无线电知识无私奉献的精神会一直鼓励我们，他对电子科普事业的卓著贡献会让我们永远缅怀。

冯老，一路走好！

微波炉常见故障的快速检修

◎王绍华

接通电源，保险管熔断

这表明微波炉内电路存在严重的短路故障。微波炉内电路大致可分为两部分，以高压变压器为界，初级线圈及灯丝绕组以前部分称为低压电路，高压线圈及以后部分称为高压电路。为了确定短路故障是在低压电路还是在高压电路，可拔掉高压变压器高压线圈与高压电容的连接插座（所有微波炉一般此连接均采用接插件形式），然后换新保险管再通电试机，这时会有两种情况之一出现：

1. 炉灯点亮，散热风扇和炉内食物转盘正常运转

这说明低压电路正常，且高压变压器也无短路故障，其故障应在高压电路，应重点检查高压二极管、高压电容有无击穿、磁控管灯丝与地有无短路（注：磁控管灯丝引脚与外壳阻值应无穷大，可拔掉灯丝引脚上的插头再测）。常见原因是高压二极管和高压电容击穿。若无高压二极管，可用原黑白电视机所用高压硅堆两个并联代替，实践表明效果一样。

2. 仍熔断保险管

这说明低压电路或高压变压器有短路故障。可将高压变压器初级绕组的接插线拔下，使之断电，然后再更换保险管（这时可用彩电用的3.15A延迟保险管代替，因价格便宜）。通电试机，也会有两种现象之一出现：①保险管不再熔断，显然高压变压器绕组已短路，必须更新。②保险管仍熔断，这说明故障在低压电路，可能是门锁开关、功率选择开关、转盘或风扇电机短路性损坏或它们的电源线破损、插头脱落等原因导致短路，可用分割法测阻值的办法找出故障点。

炉灯也亮，转盘也转，但不加热

1. 功率开关触点损坏，使高压变压器初级无电压输入。此时测有无正常电压输入即可确定。

2. 高压二极管开路性损坏，造成磁控管无直流高压输入（注：高压二极管正向电阻约100kΩ，反向电阻为无穷大）。

3. 高压变压器次级绕组断路，致使无灯丝电压或无高压输出。此时可用测其电阻方法即可确定（正常时次级绕组电阻约100Ω）。

4. 磁控管严重衰老或灯丝开路。正常情况下，磁控管灯丝直流电阻小于1Ω。

能加热，但转盘不转

如果转盘位置摆放正确，且轨道上也无障碍物，通常是转盘电机的电源接插件氧化或松脱，需要清洗并用尖嘴钳将插座端子夹扁一点，使之接触牢靠即可。如果转盘仍不转，可检测一下转盘电机电源的直流电阻，正常时阻值在9.5～10kΩ。若为无穷大，则说明定子线圈断路。若阻值明显变小，则是线圈短路。在业余条件下，只能更换功率为2.5～3W、转速为5～6r/min的永磁同步电机。

未到设定时间，即自动停止加热

这种情况通常是因炉内温度过高，导致磁控管过热，从而引起磁控管温控开关动作所致。其故障原因可能是：

1. 散热风扇叶片变形或被杂物卡住，只需修理和清除即可。

2. 散热风扇电机绕组断路，可测其工作绕组直流电阻，通常为30～50Ω。启动绕组直流电阻通常为300～500Ω，若明显过大，说明绕组开路，只能更新电机。

3. 若风扇电机运转正常，则可能是温控开关触点失去弹性，使之接触不良。

能加热，但加热缓慢

在通电情况下，打开微波炉外壳，测灯丝对地的直流电压。正常情况下应为－2000V左右，否则说明高压电容或高压整流管有问题。若电压正常，则是磁控管问题。一般磁控管灯丝电阻应小于1Ω，越小越好。如果大于1Ω，说明磁控管已严重衰老。

一点通

◎王海梅

怕冷罪魁——电解电容

由于PN结的温度特性所决定，电子元件一般是怕热的，所以，电子设备或家电产品怕热的情况比较多，长时间工作容易出故障，这时候晶体管和集成电路往往是维修检查的重点。一般可以用酒精降温法检修。但在实践中，也发现机器有怕冷的情况，冷机很难启动或不能启动，要预热一段时间才能正常工作，这种情况往往是由电容异常引起的，而电解电容又常是罪魁之首。滤波电容、调宽电容、反馈电容都可以因为温度过低而出现容量的减少或损耗角正切值增大等故障。电容故障经常是不容易测量出来的，因此只能用代换法检修，这时经验就显得特别重要。所以，当遇到机器有怕冷症的时候，单刀直入，直接更换有关的电解电容或许是检修这类故障的一个捷径。

巧用ET521A示波表检修电视机的伴音故障

◎董灵江

示波表的使用方法

打开电源开关，将功能开关放在OSC挡，按下编码开关2秒钟左右，屏幕弹出如图1所示的窗口。按“F1”，打开信号源，按“F2”，选择正弦波，再旋转编码开关，选择1kHz频率，再按“F5”确认。弹出的窗口退出，在屏幕左上角的波形显示区显示出1kHz的正弦波，如图2所示。连接示波器输入信号探头与信号源输出线即可看到正弦波形，如图3所示。

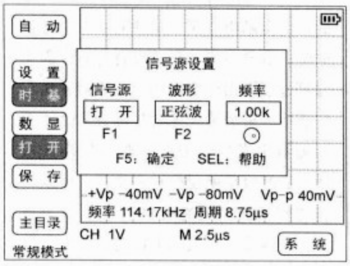


图1

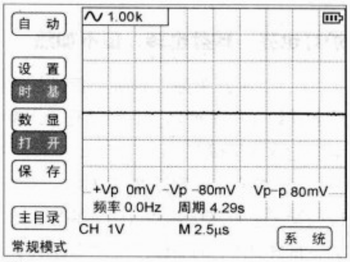


图2

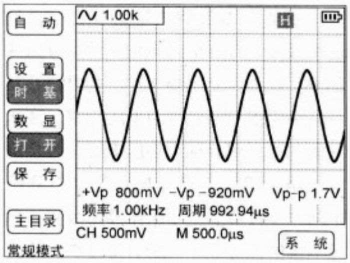


图3

几种伴音故障的检修方法

首先将伴音的鉴频输出至音频放大器的通路断开，音量调至中间状态，再根据故障状态做如下检修。

1. 伴音无声：此时可将信号源的正弦波1kHz信号注入到伴音音频放大器的输入端，同时将示波器的探头连在放大器的输出端，看有无放大了的正弦波信号。若无，即是放大器损坏。若有，说明放大器没有问题，故障可能在扬声器或者音频信号输入前级。在扬声器正常的情况下，可用示波器测量有无鉴频输出信号，逐级向前查找故障。

2. 伴音失真：此时可将信号源的正弦波 1kHz 信号注入到伴音音频放大器的输入端，同时将示波器的探头连到放大器的输出端，看放大了的正弦波信号的波形有无失真，此时会出现如下情况：(1) 限幅失真（有上限幅失真、下限幅失真、上下限幅失真）：此故障是由于OTL 音频放大器输出电路的两个输出对管或者推动管的静态工作点偏离正常值引起的。(2) 交越失真（失真的程度随音频信号输出功率的减小而增大）：此故障是 OTL 音频放大器电路中有元件变质或者损坏。(3) 寄生振荡失真：此故障是公共供电电源耦合电容异常所致，可采取增加滤波电容的方法来排除故障。

维修实例

例1 一台长虹CN－12机芯彩电出现有图像、无伴音故障。首先检查扬声器，继而用示波器测量N101（LA76810）的1脚有没有音频输出信号，在排除以上故障的情况下，断开N101的1脚与R190B的连线，断开R181切断静音控制，将信号源的正弦波1kHz注入到R190B上，同时将示波器的探头连接在N181（LA4267）的7脚上，检测不到放大了的正弦波信号，由此判断N181损坏，换新的LA4267后，故障排除。

例2 一台长虹CN－12机芯彩电出现伴音噪声大、图像上有干扰故障。用实例1的方法判断N181正常，进而检查N101与伴音有关的引脚电压外围的元器件，发现53脚外接元件C234／C236变质，引起N101 （LA76810）内部伴音处理电路工作异常，这两个电容的作用是滤除高频成分的，换新的电容后，电视机工作正常。

例3 长虹A2116型彩色电视机出现有光栅、有图像、无伴音故障。该故障大多是伴音制式控制电路有问题引起的。首先让电视机处于AV状态，通过AV插孔的AUDIO IN输入1kHz的正弦波信号，用示波器探头检测集成块N351（TDA7496）的1脚，若有正弦波，再继续检查N351的12、14脚有无正弦波信号，若没有放大了的正弦波信号，说明N351有故障，更换N351后，故障排除。

索尼PSP原装电池解锁秘籍

◎潘邦文

图2

很多使用PSP原装电池的用户都可能有过电池被锁上的经历——被锁的电池装入机器后无法开机。这是因为原装PSP电池内有一个电池管理电路，用于监测及记录电池的充/放电情况，并承担与PSP主机通信的任务（PSP原装电池有3个引脚，两边的引脚是电池的正、负极，中间的引脚为信号脚，电池状态、开机反馈信号就是通过该引脚传输给主机）。如果在充放电时信号脚不能与主机/充电器正常通信，电池管理电路就会启动电池保护程序，使电池不能对外输出电能或信号，导致电池装入主机后无法使用。这种现象用行内的话来说就叫做“锁电”。与之相反，使原装电池保护程序解除，恢复充/放电的过程，就叫做“解锁”。下面将介绍如何给被锁的电池解锁。

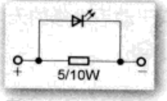


图1

解锁前，我们必须先了解原电池的类型：被锁的PSP1000电池正、负极有电压输出，而被锁的PSP2000电池无电压输出。前者的信号脚被切断，而PSP开机时需要电池反馈的开机信号才能开机，后者则是电源引脚被切断，所以两者被锁后均无法开机。对于PSP2000原装电池被锁，根本无需任何处理，因为该电池一般不超过5个小时便能自行解锁。而PSP1000原装电池的解锁也很简单，只需要彻底放电就能解除保护了。放电的方法很多，用户可根据自身的条件选择放电方式，例如用灯泡、电机或大功率电阻器等给电池正、负极放电。笔者用5Ω/10W的水泥电阻与发光二极管（选工作电压为3V的）并联（见图1），再接到电池的正、负极上（见图2）。一块充满电的PSP1000原装电池约2小时即完成初次放电，此时发光二极管停止发光。将电阻和发光二极管取下，数分钟后再接到电池正、负极上放电。几分钟后，发光二极管再次熄灭，电池放电完毕，电池也就解锁了。

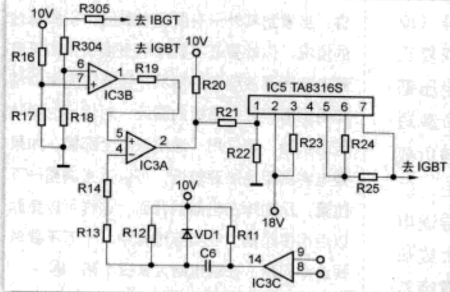
补充说明：个别电池比较“顽固”，经两次放电后仍未解锁，这必须静置数分钟后再放电，如此放电数次，直至电池经静置后再接上电阻和发光二极管也不发亮为止。有人可能担心放电时因无人值守而造成过度放电，损坏电池。笔者可以告诉大家，PSP原装电池的保护电路设计得相当完善，当电池电压下降至2.8V左右就会自动切断电源输出，因此不会因为无人值守而导致过度放电。另外，为了避免PSP原装电池被锁，不要使用组装充电器给PSP原装电池充电，也不要用PSP1000给PSP2000电池充电（反过来是可以的），长时间存放不用的电池须充电后再存放。

美的电磁炉不加热故障检修

◎季成荣

一台美的PSD－2D型电磁炉出现不加热故障。

电磁炉不加热一般是由于IGBT不工作引起的，而IGBT不工作又是因为IGBT驱动电路工作异常造成的。本机的IGBT驱动电路是由TA8316S组成的，相关的电路如附图所示。



TA8316S要正常工作除了器件本身无故障外，周边的IGBT高压保护电路及同步控制电路也应正常。IGBT高压保护电路的核心元件是IC3B（LM339），同步控制电路的核心元件是IC3C（LM339）。

首先，测量IC3A的2脚，电压为8.5V（正常应为0.25V），5脚电压为6.5V（正常应为6.5V），4脚电压为3.2V（正常应为10.9V）。IC3A的5脚电压正常，说明IGBT高压保护电路正常。4脚电压不正常，说明同步控制电路有问题。然后，测量IC3C（LM339）14脚，电压为0.2V，正常，说明C6、R12、D1、R13、R14等元件可能出现故障。最后查出是C6漏电。更换之，故障排除。

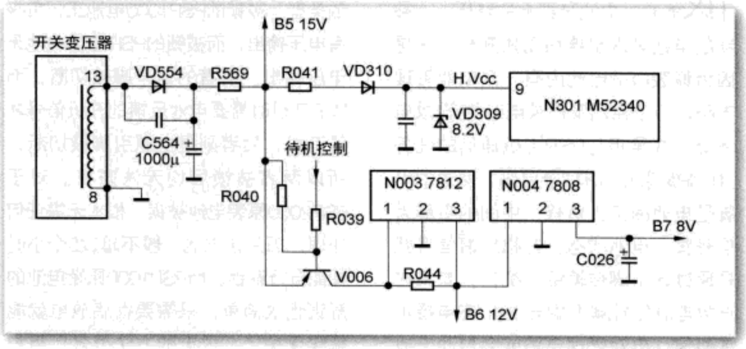
小结：该机由于C6漏电，引起同步控制电路工作异常，从而造成保护电路动作，使IGBT不能工作，造成了电磁炉不加热。

值得一提

◎段丽红　李洁

警惕二极管热开路故障

当发现某点电压过低时，一般都会考虑是负载的问题还是电源的问题，必要时会采用“开路法”分割故障，以此来缩小排查范围。例如当断开负载后，如果输出电压恢复正常，就会怀疑是负载的问题。在多数情况下，这种思路是对的，但也有例外，在实践中我发现整流二极管内阻增大引起热开路的现象和负载加重很相似，因此要引起大家的注意。



实例回放

机型：三菱TC—2128BT型彩电（三菱M52340SP单片机芯，彩电小信号处理电路为M52340SP）。

故障现象：出现开机行不同步，伴有行收缩现象，很明显故障现象是由行频不正常引起的。

检修过程：根据一般检修步骤，从行振荡开始检查，首先要检查有关行电路的供电电源，N801（M52340）的9脚（行供电端H·Vcc）正常值是8.2V，实测为5~6V，明显偏低，参考附图，用代换法检查稳压管VD309，正常，接着断开N301的9脚后发现电压仍然很低，向前检查，发现15V电压也偏低，说明电压低不是由M52340引起的。顺藤摸瓜，发现与15V电压有密切联系的N003(7812)12V输出电压也同样明显偏低，怀疑15V或12V负载有短路现象，将15V负载逐路断开，发现每断开一路负载，其电压果然都有一点回升，将负载全部断开后，15V电压恢复正常，接下来费了好大的气力检查各路负载，结果徒劳无功。转变一下思路，莫非是滤波电路的负载能力差？代换滤波电容C564，无效。检测二极管VD554正、反向电阻，皆正常，再次失望。峰回路转，代换VD554后，故障排除，由此证实该二极管工作时内阻增大，致使热开路而静态测量一切正常。

点评

维修电源或二次整流电源是电子爱好者经常碰到的，因为任何家电或电子产品的维修，电源部分都是重点。对整流二极管而言，可以通过测其整流输出电压来发现线索。如果是完全开路和短路，检修就比较容易。但在实际情况中也有很多热开路的故障，二极管工作时，导通内阻增大但没有完全开路，整流电路会呈现带载能力差的现象。如果把负载去掉（或去掉一部分）输出电压往往会恢复正常，每去掉一部分负载，输出电压都会有一定的回升，这种情况和负载短路很相似。这时如果把思路转向负载的检查，就会南辕北辙。实际上，二极管引脚的接触不良也会出现导通电阻增大的情况，二极管内阻增大或热开路时也容易发生软故障，故障经常时有时无，会给人造成接触不良的假象。在维修中往往会被误导，但是通过扭动、按压、轻敲电路板，我们会发现此故障和接触不良是有所不同的，在检修此故障时最好采用代换法。希望此文能给乐于动手维修的无线电爱好者提供帮助。

维修小经验

遇疑难 修电源

◎宋华

“遇疑难，修电源”，电源整流滤波电路虽然简单，但很多看似复杂的故障都是电源引起的。在检修中可以根据工作原理通过开路法按部就班缩小故障范围进行检修，也可以根据经验单刀直入代换故障率较高的整流二极管和滤波电容。特别是滤波电解电容，当看到其外形有脱皮和鼓肚、引脚锈蚀的情况，你就要毫不犹豫地更换了。如果电解电容有漏液现象的情况，还要首先用酒精和毛刷清理好电路板的漏液，对使用时间较长的机器，建议用“通杀法”全部换，如果是电容器距离热源较近，可以适当调整一下位置，比如焊在机器的背面，这样可以免除以后很多烦恼。在实际维修中，千万不要忽视这个问题，在这里给大家提个醒。

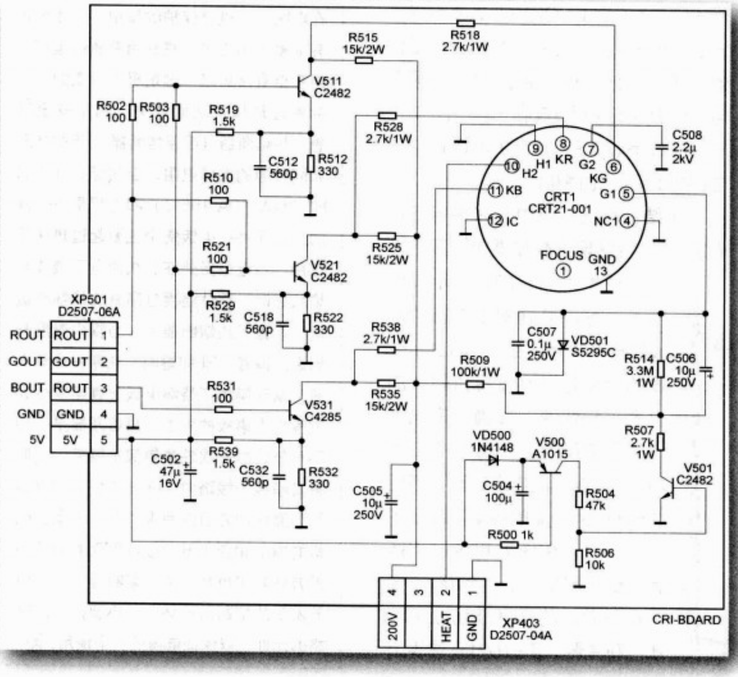
维修窍门一点通

“对调法”在维修中的应用

◎宋华　段丽红

所谓“对调法”就是把电路中的两个同样型号的元件（或电路）对调，然后通过观察故障现象有无变化，通过简单的逻辑判断确定故障范围，对调法的关键就是判断是否“故障随着元件走”。为了容易理解，我们还是通过实例来说明。

一台康佳 P21SA282 电视机，使用一年多，工作中不定时出现满屏带回扫线绿色光栅。大家知道，这种故障主要是视放电路或者显像管热碰极的缘故。视频放大电路如下图所示，电路不太复杂，有 3 个完全相同的基色放大器组成，对一般的维修人员来讲判断这类故障也不是太困难，问题是本机的毛病是不定期出现，偶尔会频繁出现故障，有时也能几天一切正常。由于牵扯到显像管的问题，用户很在意，所以要给用户做出准确判断，而困难的是该故障出现得太随机，需要用几天或者更长的时间来跟踪观察和检测。对于这种故障，对调法就显示出很大的优势。比如你可以对调绿电子枪和红电子枪的激励信号，将耦合电阻 R518 原来接绿枪阴极 KG(管脚 6) 的一端改接到红枪阴极 KR(管脚 8) 上，将耦合电阻 R528 原来接红枪阴极 KR(管脚 8) 的一端改接到绿枪阴极 KG(管脚 6) 上。然后观察对调后的故障是不是发生变化，如果仍是出现满屏绿色，就证明是显像管的问题（首先通过更换管座将管座的问题排除），如果是出现满屏红色的话，就证明是绿枪激励电路有问题。用这种办法判断是不是显像管的问题几乎不会产生误判。针对本例实际，结合过去的经验，我认为该视放管软击穿的可能性比较大，所以，我就制定了首先对调绿电子枪和红电子枪的视放管的实际维修方案，对调 V511 和 V521 后，发现故障现象变成有时满屏红光栅，这就证明故障随着元件走，据此就可以确定是绿色视放管的问题。注意：对调后出现红光栅的情况只要出现一次，就可以确定以上的判断。由于通过对调法能帮助判断故障，所以，就不会出现机器已修好自己却不知道的尴尬。



对调法对维修含有对称电路结构的机器比较适合，比如彩色视放电路，立体声音响放大电路等，在一些特殊的情况下也可以缓解手头配件不足的实际困难，比如，在上门服务的情况下，如果你怀疑某个元件有问题而随身又没有备件，就可以在机器的电路板上选择一个相同规格的元件（很多情况下可以找到）和你怀疑的元件对调，看看故障现象是不是变化，如果故障有变化，就证明该元件有问题。

从大的方面来讲对调法是一种维修的策略，我们不但可以对调元件，也可以对调一个功能模块电路，有时，我们对调的甚至是整个机器，比如，这里有两台正在工作的电视机，一台清晰，一台不清晰，或者有其他故障，这时你可能不会马上打开不清晰的电视机维修，而是要把两个电视机对调一下，以此判断是不是信号源的问题，是不是电源插座的问题，这就是逻辑判断。重视维修中的技巧，让“对调法”在维修中助你一臂之力。

用示波表快速检修液晶显示器

◎雷隆声

台美格17英寸液晶显示器，开机指示灯亮，启动困难，有时反复按开关N次又可工作，有时开机灯管亮几秒就灭。指示灯能正常点亮时，灯管亮度由较暗逐渐变亮，但亮度不高。

从故障现象看，主板、灯管、高压板、电源电路均有可能有故障，为了快速修复，便带上ET521示波表上门去维修。

打开机壳，用47型万用表测12V供电端电压，为12V，用ET521测，为12.76V。再测5V端，此处电压正常。查电源滤波电容，未见凸顶，漏液现象。测主板5V和3.3V供电，供电正常。将ET521转为“示波”挡，用探头测主板晶体振荡器，有波形，频率也正常。此时，按下开机键，再测12V电源，立即降为9.45V，问题就出在这里。仔细查看相关电路，图1所示是该机稳压电源局部实绘图。从图1可知：IC203与IC202(光耦)等为稳压电路提供基准控制回路，当取样电源12V下降时，则IC203(UA431)流入IC202发光二极管的电流下降，此时IC202光敏管等效电阻变大，控制电源芯片203D6输出

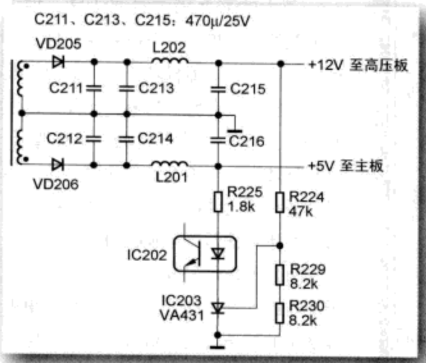


图1

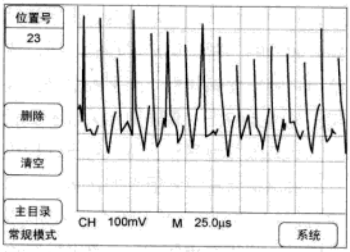


图2

的脉冲宽度变宽，开关管导通时间延长，12V端电压回至设定值。从开机后12V电压下降而待机时又正常的现象来分析，稳压回路基本正常，但带负载能力差。

用示波表测滤波电容，C211、C213正端的波形如图2所示，C215正端的波形如图3所示。从波形图中很直观发现电容C211、C213的滤波不好，波纹幅度偏大，说明C211、C213已失效。再用示波表的电容挡测，这两个电容的容量分别为168μF和127μF，正常值应该是470μF。用新的470μF /25V电容换上后，故障排除。

小结：在此故障中，如果用万用表测，只会发现负载加重使电压下降这一现象，而用ET521示波表检测，可以准确测出电容的滤波波形及具体容值。ET521示波表的优点是可测量容值较大的电容，且快速、准确。家电维修人员常用的9205数字表只能测100μF以下的电容，而且不能准确判定470μF的容量下降了多少。总之，传统万用表已不能满足现代家电产品的维修，要在竞争激烈的维修战场立足，就得利其器。用ET521示波表上

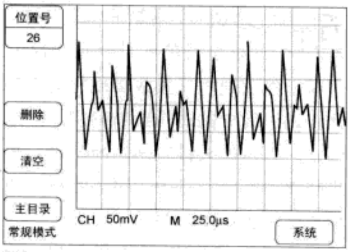


图3

门维修，不仅能提高维修效率，节约时间成本，还能快速修复不断增加技术难度的电器产品。

小贴士

◎杨宝娟

安全卫士——热熔断器

电饭煲最常见的故障就是热熔断器RF损坏。有些文章称RF为限流电阻，在电路中起过流保护的作用。实践中也有很多人图省事，将其用普通保险丝代换甚至直接短路，这是极不可取的，这会使过热保护功能消失，留下安全隐患。热熔断器（超温熔断器）RF的外形如同普通的碳膜电阻，但其标识（比如RF 250V 10A 155℃）和电阻是不一样的，该元件在电饭煲中主要起过热保护作用，当电饭煲处在长久通电干烧或空烧状态时，锅体温度过高就会烧坏电饭煲。设置了热熔断器后，当锅内温度升到设定值时，RF即熔断，切断发热盘电源，从而避免了烧坏电饭煲甚至发生火灾等重大事故的发生。热熔断器是一种不可复位的一次性热敏保护器件，一般将其串接于线路中。在电热型家用电器的超温保护方面应用很广泛，大家在电机的内部和变压器的线包里面看到的小黑方块其实也是一种热熔断器。维修中若发现热熔断器损坏，一定要换上同规格的元件，以保证电器的安全使用。

三角牌电饭煲常见故障的检修

◎余俊芳

为了解决上班族做饭问题，不少厂家近年来推出了定时保温式自动电饭煲，比如三角牌CFXB45-S70、美的牌CFXB40-4、希贵牌GDB65-5/GDB85-C等。这类电饭煲是在原豪华型保温式自动电饭煲的基础上加装了定时装置（定时装置分电子式和机械发条式两种），可预先设定煮饭时间，到时开始自动煮饭，饭熟后刚好赶上回家吃饭。下面以三角牌CFXB45-S70定时自动电饭煲为例，介绍其工作原理与故障检修方法。

工作原理

该电饭煲定时器采用机械发条式，与机械式钟表内发条结构相似，内部装有电源通断的微动开关，定时器有12个时间挡位（如图1所示），相邻挡位间隔1小时，总共12小时，在相邻挡位中间（即图中小黑点位置）为0.5小时，定时器主要作用是控制电饭煲加热的开始时间。该电饭煲的电路原理图见图2。图中S为定时器内的微动开关，SK是加热盘中间的磁钢限温温控器，其作用是起跳后能带动面板上的开关按键跳开（相当于图中SK触点断开）。ST是保温温控器，在80℃左右断开，在低于60℃左右闭合。EH是电热盘。PT是定时器。R1、R2、R3是降压限流电阻。HL1是定时指示灯（绿色），HL2是煮饭指示灯（红色），HL3是保温指示灯（黄色）。FU为限温保险管。该电饭煲有两种煮饭方式：一是不使用定时器煮饭，二是利用定时器煮饭。下面分别介绍其工作原理。

1. 不使用定时器煮饭

将电源插座插入电饭煲电源插口内，接通电源，逆时针旋转定时器PT旋钮，使标记点置于“开”位置（此时内部微动开关S动触头与1闭合，与2断开），按下面板上开关按键（相当图2中的SK触点闭合），此时电流由L（假定L为火线，N为零线）经按键开关（相当图2 中SK触点）和保温温控器ST（因温度低于60℃，所以ST是闭合的），电热盘EH（一部分经煮饭指示灯HL2、限流电阻R2）、FU流回N（零线），该状态下电热盘发热，开始煮饭，煮饭指示灯HL2同时点亮。饭熟后（103℃）磁钢限温器动作，带动面板上的按键开关跳回原位，相当于SK触点断开，切断电热盘电源，保温指示灯HL3点亮（此时ST因温度大于80℃，触点早已自动断开），煮饭指示灯熄灭，因煮饭指示灯（含R2）与电热盘并联，且阻值远大于电热盘电阻值，故在保温加热期间煮饭指示灯不会点亮。在ST控制下，电热盘在低于60℃时通电，在高于80℃时断电，所以电饭煲处于60～80℃的保温状态。

2. 使用定时器煮饭

接通电饭煲电源，按下开关按键，旋动定时器PT旋钮，使所需的定时时间标记对准固定标志点，此时内部微动开关S动触头与2闭合，与1断开，接通定时电路，定时指示灯HL1点亮，PT开始倒计时。当PT走时回到“开”位置时，内部微动开关S动触头与1闭合，与2断开（此时定时指示灯熄灭），接通煮饭电路，煮饭指示灯点亮，电热盘通电发热，开始煮饭。饭熟后，磁钢限温器动作，带动面板开关按键复位（相当于开关SK触点断开），煮饭停止，煮饭指示灯熄灭，同时保温指示灯HL3点亮，电饭煲处于保温状态。

这里需注意的是：由于机械定时器结构上的原因，在使用定时器煮饭时，应将定时器旋钮时间标记转过所需的定时时间，然后再将旋钮回转至所需的时间挡位，这样可提高定时精度。

常见故障的检修

1. 不煮饭

一般有以下几种情况：

（1）电热盘不发热，煮饭指示灯也不亮。

这说明电源没有接进电饭煲，应检查电源插头和电源线内部是否断路。若正常，应检查定时器内微动开关动触头与接点1触点接触是否良好（将旋钮逆时针旋到底，动触头与接点1应连通）。如果检查后证明触点接触正常，那极有可能是面板按键开关

触点（相当于SK触点）接触不好或温度限制保险FU管开路，因煮饭指示灯和发热盘同时损坏的可能性很小。维修实践表明：定时器内的微动开关接触不良与温度限制保险管FU熔断的情况占多数。如属微动开关接触不良，通常是触点氧化、烧蚀所致。打开后，可用0号砂纸或什锦锉修磨解决。

（2）电热盘不热，但煮饭指示灯亮。

这表明电源已接至电热盘两端，只能是电热盘断路或至电热盘端子的引线烧断、脱落。

（3）通电，按下面板按键，使用不定时煮饭时保温指示灯点亮，煮饭指示灯不亮。

这种情况说明电热盘未通电，是图2中SK触点和温控器ST触点同时开路，电饭煲实际处于保温未加热状态。

2. 煮饭不熟

这说明电热盘通电升温时间不足或温度未达到设定要求便断电了。这通常是电热盘中间的磁控限温器异常或使用不当所致。可按如下步骤检查：

（1）若面板开关已跳（即SK触点已断开），煮饭指示灯熄灭，应检查电热盘与内锅底贴合是否密切，锅底如有凸凹不平地方，应用木锤将其敲平。若是平整的，应检查电热盘与锅底之间是否有杂物（如饭粒、米粒等）。有一种情况容易忽视，就是锅底（与电热盘的接触面）和磁控限温器上有一层黑焦化膜（脏物附在上面加热后所形成），它将会阻碍电热盘对锅底的热传递，致使热阻增大，当电热盘中间的磁控限温器达到103℃后就会动作，使按键开关触点断开，这时锅内饭的温度实际上还未达到103℃，当然就未熟。检修实践表明，这种情况十分普遍。第二种情况就是人为造成的锅底与电热盘接触不全面，这主要是锅底放入电热盘上时四周不是平行放入的，而是倾斜放入的。这种情况将会使电热盘中心的磁控限温器表面处于倾斜状态，导致锅底不能整个与电热盘紧密结合，使热阻增大而煮不熟饭。最好是在锅放入电热盘上后再左右旋动一下，就可避免这种现象发生。这种情况通常表现为电饭煲外壳温度较高。

（2）如果煮饭指示灯几乎熄灭，磁控限温器触点未动作，这通常是磁控限温器控制的面板按键开关触点严重氧化而接触不良或触点位置未对齐，致使接触电阻很大，这时实际加至电热盘EH的电压大大低于220V，因温度过低而不能将饭煮熟，通过观察就可发现。如果是这样，应用0号砂纸或什锦锉修复开关触点即可。

（3）如果磁控限温器已动作，煮饭指示灯也熄灭，这种情况是磁控限温器动作温度发生下移（磁体磁性减弱），导致温度未到就起跳所致，只能更换新品。

3. 煮焦饭

这种现象一般是电热盘通电升温时间过长或不能断电所致，多数情况是保温温控器ST短路（触点粘连，不能断开）或磁控温度限制器SK动作温度上移或SK连接面板按键开关的杠杆间隙过大，使磁控温度限制器动作后，并没有使面板按键开关断开，也就是相当于图2中SK触点未断开而使电热盘继续加热。检查方法是：

（1）如果磁控温度限制器已起跳，但煮饭指示灯仍亮，可检查保温温控器ST的双金属片的支撑瓷珠是否脱落、动、静触点是否粘连及保温器的动作温度是否过高（可用替换法检查）。若查得ST正常，则一定是磁控温度限制器连接面板按键的杠杆变形或与按键开关动触点的间隙过大，使得起跳后并不能使按键开关动触点脱离静触点（相当于SK未断开）而继续加热。通过观察即可确认。经调整可排除故障。

（2）若磁控温度限制器已动作，且煮饭指示灯已熄灭，这通常是磁控温度限制器迟跳所致，应用替换法检查磁控限温器动作温度是否上移（通常是由于起跳弹簧弹性变弱导致）。

（3）磁控温度限制器不动作，这一般是磁控限温器内弹簧变形或失去弹性或弹簧里面有异物将弹簧卡死所致。通过观察试验即可发现，一般更换新品能迅速排除故障。

4. 不能自动保温

该故障通常是保温温控器ST所引起。可检查保温器引线是否断路、动、静触点是否氧化而不能接通电路、调温螺钉是否松动导致触点无法闭合，以及保温温控器动作温度是否过低（调整不当）。

5. 指示灯不亮

当电饭煲煮饭、定时、保温等各项功能正常而对应工作指示灯不亮时，通常是指示灯的引线或灯泡或与灯泡串联的降压电阻开路。应用万用表欧姆挡能确定故障点，并予以排除。

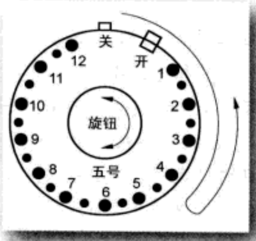


图1

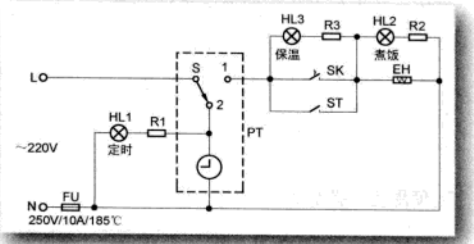


图2

自己动手检修自动电热水壶

◎韩军春

美斯特MST-912型自动电热水壶采用人性化设计，水开自动控制断开电源，无需手动来回插拔电源插头。把装满水的电热水壶，直接放到圆环形底座上，360° 自由旋转并靠自身重量下压，使电热水壶底部圆环形插头与圆盘形底座上的插座可靠接触，使用方便，深受用户的喜欢。该电热水壶使用不锈钢内胆，容量为1.2L，功率为1500W，附有加热及水量透明刻度指示等。该电热水壶结构主要分上、下两部分，上部分是壶体及加热部分，其壶体底部有圆环形插头。下部分是电热水壶的圆盘形底座，也是电源插座，插座呈圆环形。它的结构如图1所示。下面介绍两例小故障的检修过程。

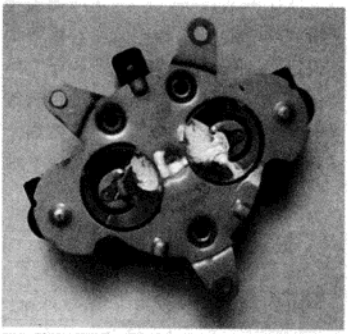


图1 美斯特MST-912型自动电热水壶壶底结构

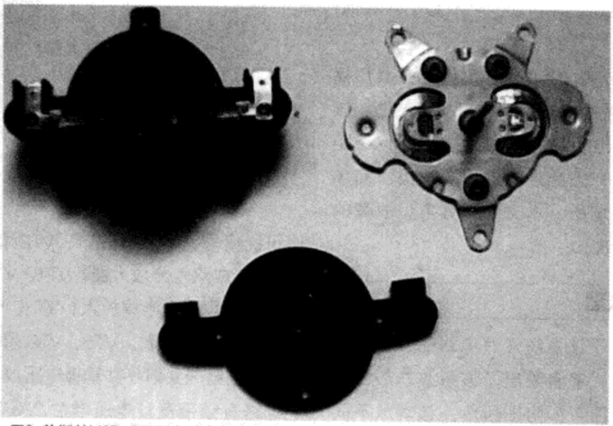


图2 美斯特MST-912型自动电热水壶内温度控制开关实物

例1：接通电源后，电热水壶不加热，指示灯也不亮。

检修：引起这种故障的主要原因有：电源连接线断、壶底插头与底盘插座接触不良（壶底相当于插头，其底盘相当于插座）、热水壶内的温度控制开关或电源开关损坏等。在不拆开壶底的情况下，先用表测壶底的两个圆形接触电极，有30Ω的电阻值，说明壶底内温度控制开关及电炉丝正常，问题出在底盘插座上。拆开其底盘插座，检查接触簧片触点，发现其接触点有烧蚀、氧化现象（用户长时间不用，其接触点也容易氧化），用砂纸打磨后，故障排除。

例2：接通电源后，电热水壶一直处于加热状态，但不能自动断电。

检修：这种故障主要是温度控制开关损坏所致。温度控制开关(SL-168)的实物如图2所示，它损坏后可拆下自行修复。造成温度控制开关损坏通常有两个原因：一是温度控制开关内接触电极的簧片触点烧蚀粘连、变形。如果是这种情况，可把上、下两个簧片拆开，用砂纸打磨其触点后即可；二是控制电极簧片接通或断开的两根约1cm长小细白色塑料顶杆变形。白色塑料顶杆变形后，向下压时不能可靠到位，使控制电极簧片不能断开，这样电炉丝就一直处于加热状态。如果是白色塑料顶杆变形，可用一个粗细、长度相当的小竹棍来代替使用。

维修小经验

不容忽视的保险电阻

◎宋华

在电源电路输出和二次电源的输出电路中，一般都设有保险电阻，它们以低阻值（几欧姆至几十欧姆），小功率（1/8~1W）为多，在电路中起着保险丝和电阻的双重作用。其功能：一是在电路过流时，保险电阻的温度在很短的时间内就会升高到500~600℃，电阻层便受热剥落而及时熔断，起到保险丝的作用，二是限制开机瞬间的浪涌电流对电路的冲击。该电阻损坏后，有的维修人员往往直接短接或者是以保险丝代之，这种做法有些不妥。因为直接短路后就起不到限流的作用，开机瞬间的浪涌电流对电路的冲击就比较大，久而久之会加快整流二极管和滤波电解电容的老化和损坏。希望维修爱好者注意这个问题，保险电阻损坏后，一定用同规格的元件替换，不要直接短接。

智能公共广播系统的维修

◎于永泉

3Unm牌NM-8450F型智能公共广播系统由广东某音响器材厂制造。该系统输出功率大（400W），可以远距离传送，因此广泛应用于学校、商场等公共场所，本文介绍其常见故障的维修方法。

工作原理

由于该系统没有电路图，为了便于维修，笔者绘出了该系统功放部分的电路图，如附图所示。该功放不同于一般OCL功放，其上管是PNP型，下管是NPN型，集电极是输出中点，也是整机的接地点（接机壳）这样不同极性的管子可装在同一散热器上，再与机壳相连，可不必考虑绝缘问题。由于输出功率较大，该机设有风扇强制散热。输出变压器的100V端子上还设置了5路选择开关和输出端子，供远距离传输使用。

从变压器输出的交流100V电压，经VD整流和C12、C13滤波产生±60V电压。R47、R48为平衡电阻，该机大功率管为悬浮供电，R47、R48的交点为“浮地”。VD3、VD4可以把输出中点的峰值电压箝位于60V，以避免功放管加反向电压而击穿，起到保护功放管的作用。

前置级的信号经插座CON2送到功放板，C2为耦合电容，L1、C1可滤除干扰信号。输入级VT1、VT2和VT3、VT4构成双差分放大器，VT1、VT2担任输入信号的正半周放大，VT3、VT4担任负半周的放大。VT5、VT6和VT7、VT8则组成共射—共基极电压放大。该电路有频带宽、电压增益高等优点。LED1和LED2电路分别为VT6、VT7提供合适的基极偏置，两只发光二极管的亮度差不多，说明VT1～VT8的电路工作基本正常。输入级和电压放大级采用±12V供电，+60V经R24、VD5、C3产生+12V，-60V经R36、VD6、C4产生-12V。

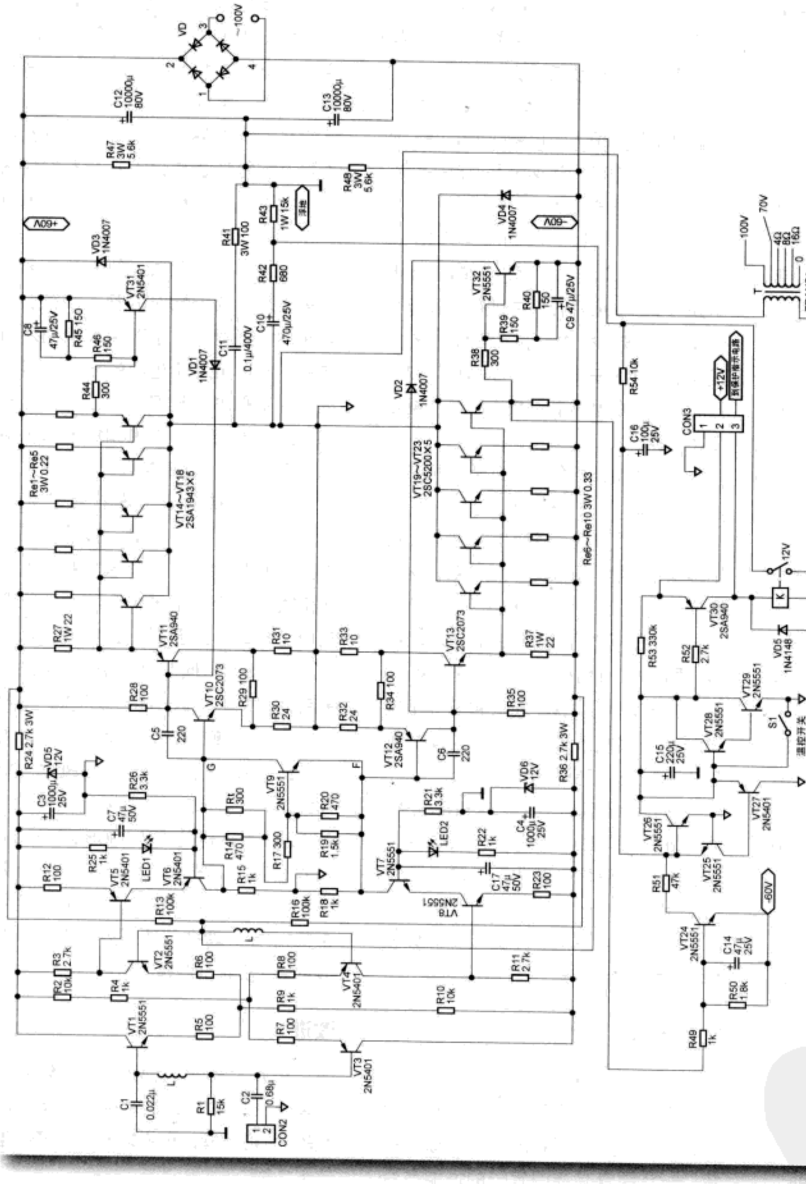
VT10～VT13为激励级放大管，用于电流放大，以推动功放管工作。其中VT12、VT10有互补特性，VT11、VT13有互补特性。VT14～VT18（2SA1943）为5只性能相同的管并联，VT19~VT23（2SC5200）为5只性能相同的管并联，输出电流很大，以提高带负载能力。

VT9与R14、Rt、R17、R19、R20构成“V_{BE}放大器”，使G、F两点间有一个合适的静态电压，确保VT10、VT12发射结有合适的正向偏置，从而调整后级电流。Rt是负温度系数热敏电阻，用导热硅脂粘在功率管散热器上，温度升高，其阻值减小，VT9导通程度加强，G、F间电压下降，VT10、VT12偏置降低，减小后级电流，起到温度补偿作用。实测V_{GF}=1.53V，如需调整V_{GF}，可把R19换成5kΩ的可调电阻，调到合适的电压值，再换成五环金属膜电阻即可。

该功放的功放管的位置不同于一般OCL功放，其上管是PNP型，下管是NPN型，集电极是输出中点，也是整机地（接机壳）这样不同极性的管子可装在同一散热器上，再与机壳相连，而不必考虑绝缘问题。该机由于输出功率大，设有风扇强制散热。T为输出变压器，所以可接多种形式的负载，输出端“0”为公共端、4～16Ω可直接接扬声器、70V定压输出端接带70V线间变压器的音箱、100V定压输出端接带100V线间变压器的音箱，该端子还设置了5路选择开关和输出端子，可分区控制，后两种输出可以远距离传送，高压传送线路损耗小，效率高，这种功放常用于多地放音，习惯上都

附表（用胜利VC97数字万用表测试，单位：V）

	VT1	VT2	VT3	VT4	VT5	VT6	VT7	VT8	VT9	VT10	VT11	VT12	VT13
e	−0.583	−0.578	0.623	0.616	11.45	8.75	−8.75	−11.45	−0.765	0.21	60	−0.24	−60
b	0	0	0	0	10.85	8.14	−8.14	−10.83	−0.22	0.765	59.45	−0.765	−59.44
c	+12	10.85	−12	−10.83	8.75	0.765	−0.765	−8.75	0.765	59.45	0	−59.44	0



电路图

叫定压功放。

VT31、VT32是过流保护管，整机正常工作时处于截止状态，当功率管电流过大时，Re5和Re10上压降增大，使VT31、VT32导通，经VD1、VD2给推动管VT11、VT13分流，减小功率管的激励电压，从而减小输出电流。

VT24～VT30构成扬声器保护电路。

R53和C15构成开机防冲击电路。接通电源开关后，+12V立即产生，C15开始充电，当C15两端电压达1.5V左右时（约5秒钟），VT28、VT29饱和，使VT30的基极为低电位，VT30饱和，继电器K吸合，扬声器接通，实现开机延时保护。

S1为常开型温控开关，固定于功放散热器上，型号为KSD302 10A 250V，当温度达到56℃±5℃时，则闭合，VT28基极电位为0V，VT28～VT30相继截止，继电器断开。一般OCL功放是检测中点电位的偏移，本机中R54、C16用来检测输出端“浮地”电位的偏移。在C16两端接入+1.5V或-1.5V时（注：用一节普通干电池实验），继电器断开。当VT26基极有正电压时，它导通，有负电压时，使VT25、VT27导通，进而使VT28基极为低电位，也就是说不论“浮地”有无达到设计要求的正或负的电压偏移，都相当于S1闭合，最终使继电器断开，达到保护的目的。

该机的特殊之处是，VT24作功率管VT23的过流保护。实测VT24发射结正偏压为0.53V时，继电器即断开。

R41、C11构成茹贝尔补偿网络，用于补偿输出变压器绕组的电感对高频信号造成的相移，从而抑制高频自激现象。

该机的负反馈信号是从“浮地”经R43取出，C10、R42是用来限制负反馈的深度。

维修方法

1. 维修步骤

检修顺序一般是从先前级到后末级。为了减小损失，先不装大功率

管，并且把输出变压器初级的一端挑开，这样可放心检修激励级以前的部分。此时“浮地”对地电位应严格为零，两发光二极管亮度基本一致，三极管VT1～VT13应处于放大状态，其发射结正偏压为0.6V左右。这样是不难找到故障的。为了试听，可以在“浮地”与地间接一只小瓦数的8Ω 扬声器，接入信号源，无论音量大小，都不应失真。有条件可以输入正弦波，用示波器检测波形。

激励级以前的故障排除了，可检修末级功放管，为避免烧功放管，可按如下流程进行：

(1) 只装VT18、VT23，其余功放管若未损坏，不必拆下，可把Re1～Re10的一端都挑开（笔者为了操作方便，把Re1～Re10都拆下，在其焊盘孔焊上大瓦数电阻的金属引线，为了便于固定,可把金属线两端都弯成圆环状，再焊上去，这样在元器件的一面就可以焊接Re1～Re10，而不必把散热器拆下）。把Re5、Re10换为100Ω/1W的电阻，这样末级只有VT18、VT23工作。把输出变压器接“浮地”的一端挑开（注意：要把VT24拆下，笔者最初没把VT24拆下，当*R*e10＝100Ω时，音量稍开大，Re10上的压降就超过0.8V，而电流却只有8mA，VT24发射结正偏压达0.53V，结果VT24饱和，继电器断开，但“浮地”的波形不失真，在“浮地”与地间接上扬声器工作也很正常，结果走了很多弯路，当把R51的一端挑开，一通电VT24就炸了，不知是质量问题，还是不能把R51断开。当Re10为0.33 Ω，经估算，保护时，Re10上电流要达2.35A）。

(2) 断开信号源，音量关到最小，开机测“浮地”电位应小于0.5V,偏差大，应查前级。

(3) 测功放管发射结正偏压，正常时在0.2～0.4V间，且基本对称，如不正常，可适当调整R19的值。测功放管发射极串联的100Ω 电阻上的压降，应小于1V，如压降大，说明静态电流大，应继续查前级。

(4) 将音量调至最小，接信号源，将音量瞬间开最大，再瞬间调最小，此时“浮地”电位应迅速降至0.5V以内，若恢复慢，应查相关的电容。

(5) 把VT14～VT17、VT19～VT23一次接入一对，将对应的供电电阻还换为100Ω/1W，再进行上述第2到第4步骤的操作。测“浮地”电位没问题，则断开这一对，检测下一对，最后把所有的功放管都接入电路，重复上述步骤。

(6) 如上述检测都正常，把Re1～Re10拆下，把Re5、Re10换为0.22Ω/3W的电阻，把VT24装上，接上输出变压器，并接上低档音箱，逐步将音量开大到2/3，试机半小时以上，功放管温升正常，可再装上一对功放管，再试机，直到把5对功放管全装上。再将音量调大，100V输出端子应不低于100V，试机不低于半小时，功放管温升正常，则可交付使用。

末级功率管VT14～VT23的发射结均正偏，静态时电压为0.22～0.24V，动态时电压随信号变化，但均未超过0.5V。

实测整机正常工作时相关晶体管的电压如附表所示。

2. 换管要点

更换损坏的元器件后，不能立即通电，这样很容易再次大面积烧毁相关的元器件。当查出某只三极管损坏，一定要查其周围管子的性能是否变差，如VT10损坏，一定不要忽视VT11、VT12、VT13及功率管的检查。三极管的检查，要焊下来用万用表的R×10kΩ挡检测，对于2N5401、2N5551，其发射结的反向电阻一般要大于3MΩ。c、e极间正、反向电阻越大越好，对于2N5551（NPN型），黑表笔接e极，红表笔接c极时，电阻不应小于3MΩ，红、黑表笔对调后，电阻应为无穷大。对于2N5401（PNP型），红、黑表笔对调后，应有同样结论。对于2SA940、2SC2073以及功率管（不包括达林顿管），发射结的反向电阻及c、e极间的正、反向电阻均应为无穷大，否则不能采用。

关于管子的配对，笔者认为要求不是很严。要求配对的管子，在业余条件下，主要用数字万用表检测发射结的正向电阻及集电结的正向电阻，两管的差别越小越好。对于同一只管子，其发射结正向电阻和集电结正向电阻差别越小，β值越大。

在更换推动级、末级互补功放电路时，最好上、下臂三极管要同时更换，避免留下故障隐患。对于大中功率管的代换，笔者认为不必一定要换原型号的，只要耐压、电流、功率满足要求，一般是听不出差异的。笔者购买一对2SA1943／2SC5200要28元，大功率PNP管较少，只能用原型号的，2SC5200用拆机的BUW13A（1000V 15A 150W）代换，花费2元，2SA940用拆机的2SA1668(200V 2A 25W)代换，花费1元，2SC2073用拆机的2SC3158（500V 7A 60W）代换，花费1.2元。这些元件使用半年了一直很正常，实践证明是可行的。

改进

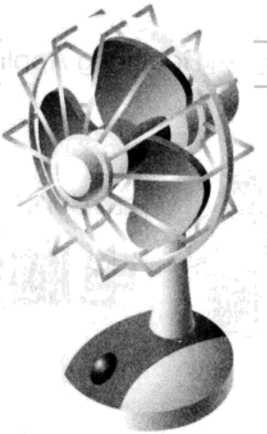
(1) 为避免过激励损坏功放电路，在输入插座CON2处并接两只反向串联的3V稳压管，可将输入信号峰值箝位于3.6V。

(2) 原机VD5、VD6采用的是0.5W的，功率余量小，换为1W的，且稳压值要用数字电压表测量，误差越小越好。

(3) C16改为两只容量为220μF/25V的电解电容反向串联，这样避免C16在反向充电时失效。

维修在你身边

自己动手维修电风扇



◎王海梅　段丽红

质量好的电风扇使用十几年也不会出毛病，可是遇上质量不好的电风扇，使用时间不长就可能消极怠工。一开始注入点润滑油，还可以勉强工作，但反反复复，一不小心就要烧掉电机（线圈通电的情况下，风扇不转动，由于没有反电动势，很容易烧电机）。你到外面去修理，维修师傅一般会给你的电风扇换电机。遇到这种情况，不妨自己动手维修一下。

优质的电风扇的套筒轴承是采用多孔铜材车制的（这种套筒轴承叫含油轴承），多孔铜材具有吸附润滑油的特性，在润滑油作用下电机不易出故障。目前有些电风扇的套筒轴承采用的材料质量不高，精度也下降，再加上为了追求小体积电机，使线圈线径变细。工作时电机的润滑油容易蒸发，引起机械磨损，这样恶性循环，使风扇的电机在劫难逃。这种电风扇一开始出现的问题往往是风扇启动困难，或在低挡位不能启动，随后故障逐渐加重。只要电风扇一开始出现这样的现象你就要注意了，如果电机用手施加外力转动后能顺利启动，有可能是启动电容有问题。如果手动也不能启动，感到电机机械转动很困难，那就考虑是电机质量的问题了，简单地从外部注油，也许能维持几天，但不能根本解决问题。

检修这种故障一般需要把电机打开，将转轴、套筒或轴承上的油垢全部清理干净，全面加润滑油，把储油毡也加满。在重新安装时，要仔细一点，注意不要碰着线圈。安装好后，用手转动转轴应该比较灵活才行。通电以后，一般要用木棍或螺丝刀的后托轻轻敲打以调整轴心，可能一开始不转，要敲打以后才正常。经过以上的处理，电风扇如果在低挡也能正常启动，就可以正常使用了。

过去的电风扇几年才上一次油，或基本不需要保养，但近年出现了一些样式好看、电机质量欠佳的电风扇，这种保养工作最好每年仔细做一次。当出现严重磨损时，再做维修就有些迟了。要将故障的苗头铲除在萌芽状态，低挡不能启动就是电机发出的最初求救信号。

说起来，维修电机我也是门外汉，电子爱好使我从不会维修变成熟练维修，现在我每年都要维修、保养我的及亲友的电风扇。同一时间买的电风扇，有的早已废弃不能用了，而经过我长期维护的这些电风扇，每当酷暑来临时，却仍默默地（噪声低）给人们送去阵阵清凉。

小贴士

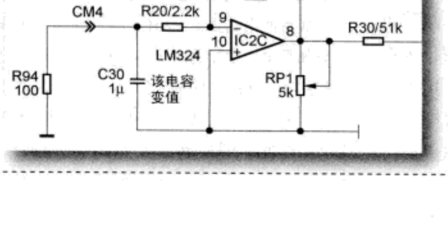
◎杨舟成

检测电容失效造成电磁炉铁锅不加热

一台尚朋堂SR-CH2012型电磁炉曾发生爆机故障，经检查是功率管IGBT击穿。更换故障元件后，用不锈钢锅具正常，但换用铁质锅具后却不能正常加热，同时蜂鸣器发出有节奏的报警声，测电流，表指针在0~2A之间反复摆动。

故障分析：用不锈钢锅具加热正常，说明单片机及其周围电路正常，同时也说明启动电压信号SB、脉宽调制电压信号PWM以及驱动输出单元等电路也正常。从电流表指针能够在小范围内摆动，同时蜂鸣器能发出有节奏的报警声，说明锅具检测电路有问题，造成使用铁锅时检测灵敏度低。

故障检修：首先根据电路板实物，绘制出该款电磁炉的锅具检测电路原理图，如附图所示。



对照原理图，分别检测电阻R20、R30、R33（以上3只均为贴片电阻）以及R94（该电阻为检锅电阻），均正常。检测功率调节电位器RP1也正常。接着检测电容C31，正常。测量C30，发现其容量为0.1μF，而在尚朋堂其他各款电磁炉中，该电容的容量均为1μF，怀疑该电容变值了。该电容为贴片电容，因手头无相同的贴片元件，用1只相同容量的电解电容将其代换，通电开机，放上铁质锅具，电磁炉加热正常，故障排除。

维修总动员

电脑维修你我同行

◎宋华 段丽红

“昔日王谢堂前燕，飞入寻常百姓家”，这正是当今个人电脑现状的真实写照。电脑的普及速度之快令人惊叹，价格越来越低，配置也越来越高，已经成为我们日常生活的一部分。尽管电脑的质量总体还不错，但时间长了，难免有些头疼脑热，发一些小脾气，找人维修总归比较麻烦，所以很多人都有自己动手DIY的愿望，但一想到电脑理论的博大精深，不免有些顾虑。其实，电脑的原理虽然复杂深奥，但其结构是模块化风格，为维修提供了便利，如果你有情趣自己动手，完全可以排除一些常见的故障，从解决自己心爱的电脑故障入手，从入门到深入，很一般的用户都能成为行家里手，如果你是一个无线电方面的爱好者，更有条件一试身手了。正像一位朋友调侃的那样，现代人自己修理电脑像吃饭一样司空见惯，具备一定的电脑维护常识很重要。下面我说说我自己动手修电脑的经历。

频繁死机——CPU风扇惹的祸

我用的电脑的配置现在看来已经是古董级的，虽经过升级，仍然受到好事同事的贬低，但在当时确实是我心爱的宝贝。当出现死机故障的时候，我还真有些担心，唯恐坏了什么大件。一开始死机的频率不高，逐渐加重，多次重做系统后还是不能解决问题，请人维修，要等两天的时间。我有些心急，就迫不及待地自己打开了机箱，一看原来是CPU风扇消极怠工不转了，花费不多换了个风扇，一切OK，没想到如此简单。现在说起来简直不值一提，但当时着实比较兴奋。我虽然业余也爱好修理一些家电，但之前电脑还没有碰过，初战告捷，这第一次维修的经历现在回忆起来还历历在目。

后来CPU风扇又坏过一次，风扇噪声大，效率变低，电脑运行速度变慢，难以正常运行大的程序。实践证明，风扇是易损件，检修也很简单，有些风扇运行中间虽然没有杂音，但你轻轻一碰就停转，就证明转动的力量变小了，需要更换。过去还有人通过注油等方法修理，现在看来没那个必要了，因为修理以后有很多风扇还是用不长，好的就几十元钱，不如换一个来得痛快。

不能通过自检——内存条接触不良

电脑在按下机箱电源开关的时候，CPU风扇能正常运转，但是没有启动画面，显示器不显示图像，没有自检声音。开机后经常出现这样的情况，有时按几次机箱重启RESET键后也可以启动，有时又不行，如此反复就可能启动，启动以后又没有别的问题，很是烦人。因为在正常的情况下能工作，所以我就彻底重做了一遍系统，以后证明还是不行，还是经常不能启动。怀疑是硬件的问题，既然能工作，说明可能是接触不良，把内存条拔下来清理，长时间观察，故障彻底排除。通过以后的经验证明，内存条接触不良的情况比较常见，用橡皮进行仔细清理，效果很好。电脑现在的工作环境和以前不能同日而语，过去几万元一台的时候，单位都配有专门的电脑室，空调地毯，一尘不染。现在，大多数的电脑可没有这样的待遇了，粉尘多、温度高、湿度大的环境下，很多电脑会更容易产生接触不好的故障。有些电脑里面那些小的粉尘颗粒和棉絮状的纤维结合在一起，相当难于清理。所以，要尽量保证电脑的工作环境，定期给自己的电脑除尘也可以防止一些故障的隐患，没有专业的清理工具，用打气管和小毛刷也可以，只要操作仔细，一样可以达到好的效果。

小贴士

耐压越高越好吗？

◎段丽红

在维修中经常要遇到元器件代换的问题。一般来讲，保险丝和保险电阻只能用原规格的代换，其他元器件的代换则本着宁大勿小的原则。大功率元器件代换小功率元器件，高耐压元器件代换低耐压的元器件，通常这是允许的，但是也要有一定的限制，要具体问题具体分析。比如彩电中经常遇到的滤波电容的代换，有人喜欢用450V甚至耐压更高的电容代换原来的耐压400V的电容，认为这样可以减少电容损坏的机会。实际上这种做法并不可取，因为原电容的耐压余量值已足够。正常情况下，当外电压因故过高时。该电容很容易短路损坏，导致保险丝熔断，而如果用高耐压的电容以后，可想而知，虽然电容不损坏，但过高的电压就会造成后面电路更大面积的元器件损坏，后果更加严重。由此看来，电容及时损坏客观上起到了一定的“保护”作用，所以，从这个角度来看，宁大勿小也不是绝对正确，耐压并不是越高越好。

动手修修小家电

充电时误操作引发的电动自行车罢工

◎罗列

一辆24V电源电动自行车，在充电时误将48V充电器插入充电插口，在插接插头的瞬间，只见充电插口处绿光一闪，"啪"的一声打火声，随即拨出充电插头。此刻再打开电源开关，仪表无任何反应，转动手把电机也不转，说明电源不通了。送到修理部维修，说控制器损坏了，电瓶也损坏了，要换新的，总费用300多块钱。我不甘心，于是自己尝试进行维修。

分析故障原因可能有三种情况：一是充电器电压不符，造成保险丝熔断；二是充电器正、负极性相反，造成保险丝管熔断或充电电路损坏；三是充电电压过高，造成电瓶损坏。

打开机盖，查找保险丝管，经反复查找发现此车未设保险装置。同时观察相关的连接电路，未发现电路有脱落、松动和接触不良情况。检查电瓶，外观无异常，电压正常，说明电瓶也没有损坏。外围电路没发现问题，看来问题出在控制器上。打开控制器，各元器件外观均完好无损，未发现元器件有打火、烧灼和起鼓迹象，焊点也无虚焊或焊脚脱落。再细查，发现控制器充电输入端的铜箔有一点点凸起，因上面的绿漆无任何改变，故开始检查时没发现。刮去凸起处铜箔上的绿漆，发现此处铜箔已断裂，造成电路不通。此时解决的办法只有用跳线连接，考虑此处的电流较大，使用双跳线连接。焊接好后（见附图），试车，一切恢复正常——故障排除。没花一分钱，一切OK了，前后不到半小时，成功后，心中甚是喜悦。

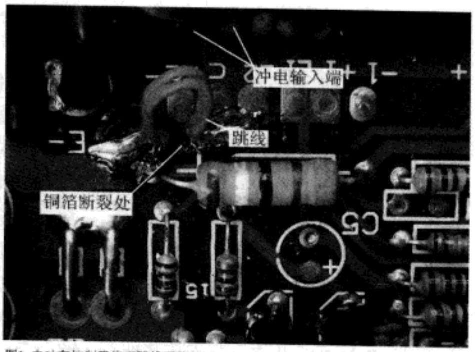


图1 电动车控制器修理跳线联接处

电路板上的铜箔在电压不高的情况下，被瞬间击断而不留烧灼痕迹，甚至连上面一层薄薄的绿漆的颜色都没有改变，此种故障实为少见，可能与覆铜板的质量有关。如果铜箔不是有轻微的凸起、如果不是仔细地检查，就很难发现。不过，如果不是覆铜板出问题，其他元器件也就难逃一劫了，有可能还得花钱换个新的控制器。

从一个维修的实例谈起

◎王海梅

接到电话求援，到一个朋友家里去维修电磁炉。电磁炉的插头是直接插在墙上的插座上的，朋友家每天都用电磁炉做饭。前几天开始有糊味，所以就更换了插线板，结果发现糊味变大，线排也烧坏了，电源插头特别烫，连墙上的电源插座都裂开了，好危险啊！很明显这不是电磁炉本身的问题，烧坏的插座和厨房里弥漫的烧糊的胶皮气味说明了一切。

形成这种情况的原因主要有两点：(1) 电源插座质量不佳，插座内的铜片太薄导致变形或氧化，而不能与电磁炉上的插头紧密接触，造成严重发热，插头和开裂变形的插座烧在了一起，不能拔下。(2) 电源线线径过细，电磁炉电功率一般在2000W以上，工作时电源插线板自身的发热引起插座发热。

仔细反思一下，这是一个带有普遍性的实际问题，应该引起我们的高度重视。随着家电数量的增多，每个家庭用电量的日益增加，用电安全的问题就显得十分重要。比较突出的问题是，使用时有些用电量很大的电器诸如：热水器、电磁炉、甚至挂式空调都是用插头供电的（对于大功率电器，从安全规范上来说，一般不适合用插头供电，更不允许用接线板进行连接）。实践中发现由于接触电阻大，发热烧坏甚至引起火灾等令人触目惊心的事件时有发生，对此决不能掉以轻心。大众的普遍心理是对电器本身不惜慷慨解囊，但对用电线及插线板却显得不够重视。所以，一定要确实保证插座的质量和接触的效果。即便使用的是正规厂家的插座（规格16A以上的），也要养成经常关注插头使用中的手感温度的习惯。如果感到电器在长时间工作时其插头烫手，就要及时进行更换。上述这些电器如果必须要用插线板延长，还要特别注意插线板的规格和质量，市面上销售的所谓的能带空调的16A插线板，其导线的规格才是3mm×1mm（10A的插线板仅为3mm×0.75mm），经打开查看，功率明显达不到要求，几乎无一例外。所以建议用3mm×2mm（或3mm×2.5mm）规格的双套软铜线制作，这对普通的用户也不是什么难事。制作的插线板成本较低，质量又好，何乐而不为？

大功率有源音箱的原理与维修

◎赵幸福

跃马牌大功率有源音箱功率足、频响宽、动态范围大、保真度高，声音圆润而甜美，被广泛应用于舞台扩音、婚礼庆典演唱、街头集体舞音乐播放及教学等场合，可以说是当前大功率有源音箱的主流产品。由于该音箱输出功率较大，在使用中如果当地的供电电压高出其音箱的额定工作电压（交流220V）许多（笔者所在地的电网电压常在235~245V之间），再加之业余文艺爱好者对高保真扩音设备的使用缺乏足够的经验，使得该音响设备的故障率比较高。为了解决维修者缺少该音响系统维修资料而导致维修难的问题，本人根据产品电路实物，将其功率放大部分的电路图绘制出来，并将其电路原理及维修经验介绍如下，供大家参考。

一、工作原理

跃马音箱器材公司生产的MK250-212型、MK280-115型及MK280-210型音箱的功率放大部分电路相同，其电路原理如图1所示。该功率放大器由4只运放集成块及其外围元件和6只晶体管（其中VT9和VT10各为两只大功率晶体管并联）等组成。从整体上来看，放大器可分为推动放大级、自动增益控制电路和功率输出级三部分，其工作原理如下：

1. 推动放大级

推动放大级由双运放集成块IC8、IC9（两只4558）及外围元件组成。来自于前置放大器（本电路不含这部分）的音频信号经C51、R125从双运放集成块IC8的一个放大器正向输入端（3脚）输入进行第一次放大。RP为该放大器输出增益控制（也即总音量控制）电位器，当电位器活动触点向上移动时，放大器输出至第二个放大器输入端（5脚）的信号接近地端趋于短路。同时，第一个放大器的负反馈量也增大，使输出增益降低，进入第二个放大器输入端（5脚）的信号减弱，总音量得以衰减。反之，总音量得以提升。信号进入IC8的5脚进行第二次放大后的信号由7脚输出，经R116、R180、R136、EC52、R143进入双运放集成电路IC9的正输入端5脚进行第一次放大。由于该运放的负输入端与输出端是短接的，是一个跟随放大器，增益为1，无电压放大作用，但可以降低输出端内阻。放大后的信号从7脚输出，经EC42、R166进入IC9的另一个放大器的负输入端（2脚）进行反向比例放大。放大后的信号由1脚输出，经R164进入分离元件组成的OCL功率放大器进行功率放大。

2. 自动控制电路原理

自动控制电路主要有IC10和IC11及其外围元件组成，型号分别为LM358和LM3080。LM3080是一个跨导单运算放大器，是一种输入电压控制输出电流的增益器件，内部电路如图2所示，由一对差分对管（VT2、VT3）和4个恒流源（ICMI、ICM2、ICM3、ICM4）组成。其中ICM1、ICM2、ICM3为威尔逊恒流源，作电流映射之用，ICM4恒流源提供差分对管的射极偏流。该电流受5脚外界输入电压控制。其控制原理为：IC9第一次放大后7脚输出的信号经R168进入IC11的负输入端2脚进行反向比例放大，放大后的信号反馈至IC9第一次放大的输入端5脚，与来自于IC8二次放大的信号相位相反，具有并联电压负反馈作用，反馈结果使5脚输入信号得以衰减，而信号电压得到稳定。反馈量的大小不仅与IC11的2脚的音频输入电压有关，还与5脚的控制电压有关。而5脚的控制电压来自于IC9第二次放大输出（功率放大级的输入端VD11与VD13的连接处），经VD11、R142（VD23）、R133、R134、R150和VD13、R158（VD12）、R135、R151两个方向加到IC10的3脚和2脚（实际上是一条闭合回路）进行正比例放大，放大后的信号由IC10的1脚输出，通过VD15、R169、R170、VD4进入跨导运放IC11的5脚电压控制端。当IC9二次放大输出信号强时，输入至IC10的2脚与3脚之间的差模电压就高，1脚输出电压就高，通过VD15、R169、R170、VD4进入跨导运放IC11的5脚控制电压也高，IC11内部VT1导通量大，差分对管VT2、VT3射极电流也大，IC11反比例放大输出信号就强，负反馈增加，使IC9 一次放大输入端5脚信号减弱，IC9二次放大输出信号得以降低。反之，IC9二次放大输出信号升高。这样，适当选择负反馈取样电阻R168的大小就可以将增益限制在一定范围内，避免过载失真。这一措施是跃马音箱在电路设计上的一个经典之作，它有效地保证了放音质量。

3. 功率输出级

分离元件放大器是一个大功率复合推挽放大电路。其中VT5与VT9复合担任上臂放大，VT6与VT10复合

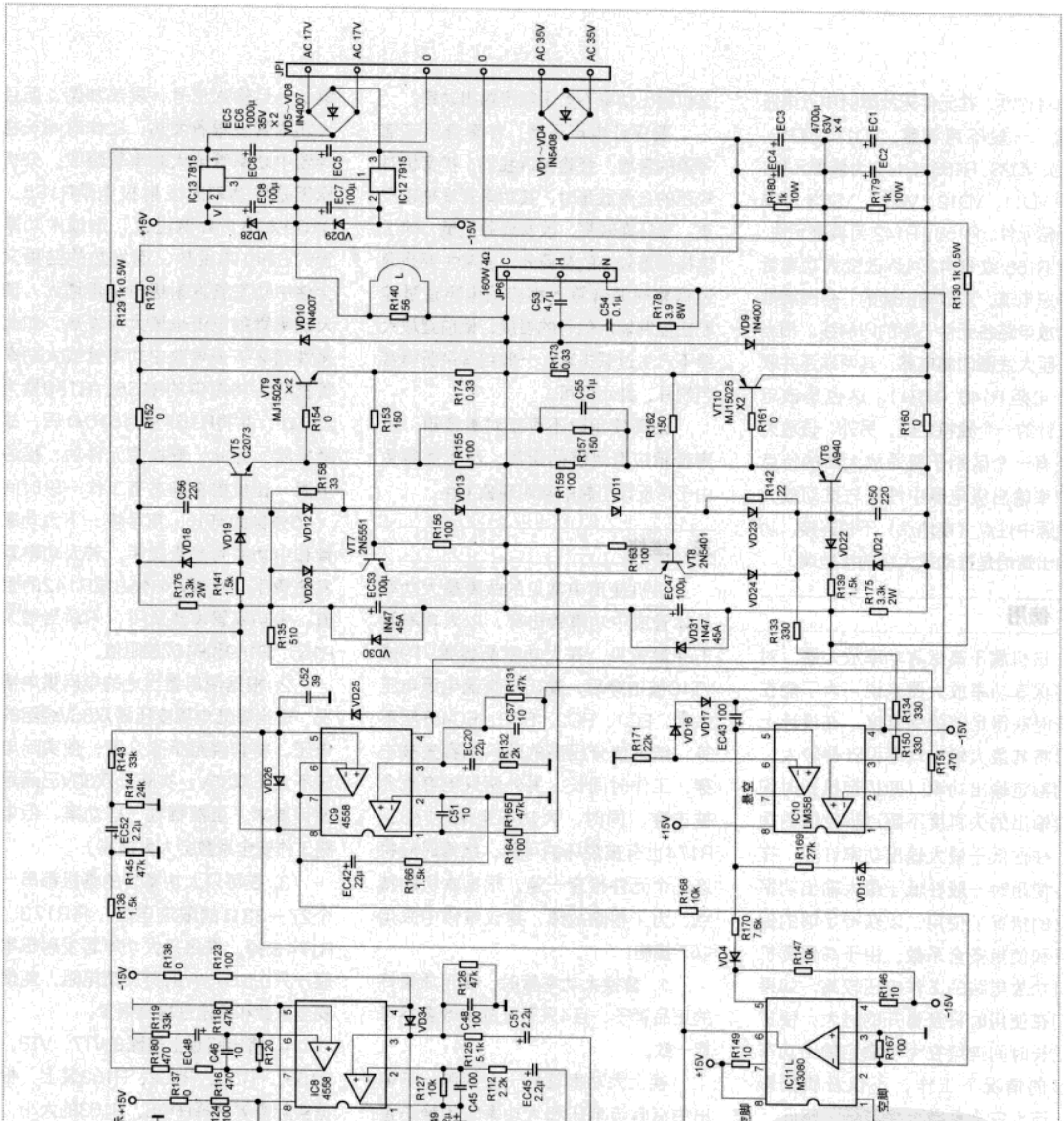


图1 跃马NX250-212多功能音箱功率放大器电路原理图

担任下臂放大。在厂家生产的电路板上VT9和VT10各由两只同型号大功率晶体管直接并联而成，型号分别为MJ15024（NPN型，I_{CM}=25A，V_{CEO}=400V，P_{CM}=250W）和MJ15025（PNP型，I_{CM}=25A，V_{CEO}=250V，P_{CM}=250W）。VT7、VT8及其辅助电路元件VD20、R153、R156及VD24、R162、R163组成过流保护电路。厂家生产的电路板在出厂时没有安装VT7、VT8及R153、R156、R162、R163，但都留有安装的位置。本人根据保护的实际需要及元件的工作环境，经计算将其元件绘制在电路图中。读者在维修时也可以根据情况和需要对R156和R163的阻值大小进行适当的调整。该功率输出级具有独立的直流偏置，维修时可以单独进行调整。由于上、下臂电

路的对称性，在元件无故障时中点电压正常，一般不用调整。VD11、VD12、VD13、VD23、R158、R142为偏置元件，其中VD11、VD12、VD13、VD23为温度补偿元件，R158、R142为调整元件，调整R158或R142可以改变大功率管的静态电流。功放输出端的L是围绕推挽功放电路各元件一周的印制线，相当于一匝大线圈印制电感，其两端还并联一个电阻R140（56Ω），这也是该电路设计的一个独特之处。另外，该放大器还有一个区别于普通放大器的特点是功率输出级电源中性点与推动放大级电源中性点（接地点）不相连接，功放输出端恰是推动放大级的接地端。

二、使用

该机属于高保真功率放大器。对于高保真功率放大器来说，为了能在放音时获得足够的保真度，在设计上一般将其最大输出功率设计得较大，它的额定输出功率（即扩音机长时间连续输出的失真度不超过规定值的功率）往往低于最大输出功率许多，在实际使用时一般在低于最大输出功率几倍的情况下使用，以获得足够的保真度和使用安全系数。由于高保真扩音机功放电路的工作电压较高，如果我们在使用时将音量开的过大，使扩音机长时间连续在大于额定输出功率许多的情况下工作，不仅音质受影响，而且安全系数大大降低。因此，使用时应适当控制总音量旋钮，使扩音机输出功率不大于额定输出功率。

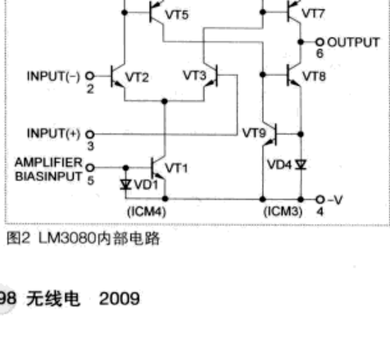


图2 LM3080内部电路

要保证电声乐器、伴奏音乐等信号源的音质。经验告诉我们，扩音机对较差的音源放音时，其功率管发热较严重，损坏率较高。改善音源质量，除了选择质量较高的音源外，通常主要是通过调整有源音箱上相应的电声音量控制钮控制输入信号的强度，使前置放大器不产生过载失真。一般用耳朵听得音色悦耳、纯正即可。

话筒使用时不可正对着音箱，且离音箱应有足够的距离，尽可能避免由于声反馈引起的啸叫现象发生。

三、维修

该机使用中常见的故障是大功率晶体管或中功率管击穿，以大功率管击穿最多见。在大功率晶体管VT9或VT10被击穿后，输出端直流电源电压失常，EC1、EC2、EC3、EC4分压不等，结果使分压高的两只电容先被击穿，工作时间长，另外两只电容也会被击穿。同时，大功率电阻R173、R174也有被烧坏的可能，维修时应将这几个元件检查一遍。根据本机的特点，为了根除故障，建议维修中采用以下措施：

1. 替换大功率管时，要用质量好的正品管子，且4只管子的参数要尽可能一致。

换上大功率管后一定要测一下输出中点直流电压和大功率管的静态直流电流是否正常。由于推挽电路上下的对称性及其元件参数的对称性，中点电压一般不会有问题，若有问题，就需要查一下个别电阻或其他元件是否损坏和变值等。若静态电流太大，可调整R158或R142。本人在维修中发现，功率管的静态电流并不大，甚至为零，但仍烧功率管，仔细检查发现两只中功率管在静态工作下也发热。在没有信号输入下连续通电1小时，没有异常现象。一旦输入信号，发热加剧，而且大功率管也跟着发热，工作时间长将导致中功率管或大功率管烧毁。分析原因是中功率管发射极电阻R155、R159太小，分流过大，造成中功率管VT5和VT6发热，而发热的结果又会使中功率管发射极电流再增大，使大功率管的电流也增大而发热。如此恶性循环下去导致中功率管或大功率管损坏。将图中的R155、R159换为220Ω，并将R157换为510Ω后，故障排除。因此，更换完元件后，接通电源，让机器在静态下工作一段时间（10分钟即可），用手摸一下大功率管和中功率管是否烫手。若大功率管发热烫手，可减小R158或R142的阻值。中功率管发热烫手，则适当增大R155、R159和R157的阻值。

2. 根据使用者当地的电网供电情况，适当降低电源变压器双35V绕组的电压，将其绕组拆除几圈，使实际电压不大于双35V。实际上双30V已满足使用要求，虽然牺牲一些功率，但电路工作安全系数会大大提高。

3. 在每只大功率管的基极都串一个27～33Ω的限流电阻，将R173、R174去掉，在每只大功率管发射极串联一只0.5Ω/5W的负反馈电阻，能使安全系数和稳定性提高很多。

4. 将电路板上省略的VT7、VT8、R153、R156、R162、R163装上，根据实际需要选择R156、R163的大小，使电路具有保护功能。

5. 更换元件后接通电源，测一下每只大功率管的静态电流。如电流大，可减小R142、R158的阻值，使静态工作电流减小。

另外，电路板上有不少外形像电阻的连接器件，在电路板上仍用电阻符号表示，实际阻值为零，相当于用导线直接连接，如图中的R172、R152、R154、R160、R161、R137、R138等，维修时应注意区分。

生活中的小维修

如何维修电吹风

◎段丽红

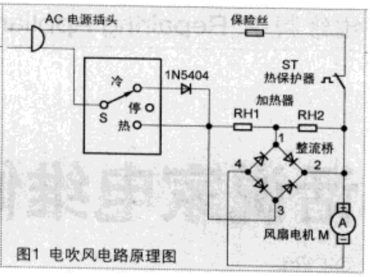


图1 电吹风电路原理图

如果你的电吹风出了毛病，也许你会马上考虑买个新的。的确，由于电吹风价格便宜，许多人甚至懒得去维修，哪怕是最简单的小家电故障。其实，这类小家电多数故障比较简单，自己动手就能修复再用。

我曾维修过一个电吹风，故障现象是风力不足，电热丝发红。维修步骤十分简单，清理一下风扇的进风口，给电机注入一点机润滑油，就一切搞定了。所以，在你准备丢弃有故障的电吹风之前，不妨也自己动手尝试一下，即便是没有维修经验的“菜鸟”，只要你有动手的愿望，维修电吹风并不难做到。虽然电吹风种类繁多，外形各异，但其组成和工作原理大致相同。一个典型的电吹风包括开关、风扇、加热器，或许还有一个保险装置热保护器等。看着实物画出电路图也不是难事，图1所示的是一个电吹风的线路图。实物图如图2所示。不管是电扇不转（或转得慢），还是电阻丝不热，都说明电吹风有问题，需要检修。

检修开关：开关用来控制加热器的电流和风扇的转速，最简单的开关是有“通”和“断”两个状态，多掷开关会有多个状态，如“强弱风”或“冷热风”状态。这些开关的测试检查方法是一样的，都是采用万用表来判断开关是否能正常地接通和断开。

检修热保护器：热保护器是安全装置，在电吹风过热时，它会自动切断电热丝回路。热保护器采用双金属片作为感温元件，利用在不同的温度下产生变形的原理，使触点迅速动作，达到断开电路的目的。检修时可用细砂纸甚至质地比较硬的纸张清理触点的杂质，保证接触良好。

检修电扇：电扇通电后通过喷嘴吹风，吹风机一般还是经久耐用的，但由于多数在浴室里使用，出故障的主要原因是潮气的侵蚀，还有就是头发或其他细的纤维挡住进风口。检修时，先要打开外壳，见图2，然后用软毛刷或旧牙刷将风扇和进风口清理干净，见图3、图4。潮气能缩短电机的寿命，检查风叶时，先将上面的污垢要清理干净，再将风扇拆下，用油壶或螺丝刀给电机注入一点润滑油，见图5，给电机的转轴注油，一滴就可以了，见图6。

检修加热元件，电流通过加热器，加热器产生热量，风扇通过加热器吹出热风，由于工作温度比较高，电热器最容易出现的问题是连接点接触不良，可以用万用表检测其接触情况。如果电热丝回路里串接有热保护器的话，还要检查热保护器是否损坏。

检修电路元件：在图1所示的电路中，市电经过了电阻丝分压通过一个全波整流电路给电机供电。开关附近的二极管是控制选择高、低挡的元件，和电热毯开关控制高、低温度一个道理。二极管的检查一般比较简单，正向通，反向不通，但也有一些情况是用表检测一切正常，而在市电电压下，才出现一些故障，比如热开路，所以必要时，要用代换法检查确定。

实践证明：只要能将电吹风的外壳打开，大多数故障就会一目了然。经过简单地检查，一般的故障是很容易解决的。在很多情况下，自己动手就能使这类小家电迎来“第二春”。

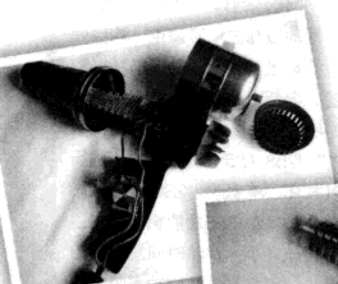


图2 电吹风内部结构图 打开外壳，有的螺丝可能在商标牌的下面的凹陷处

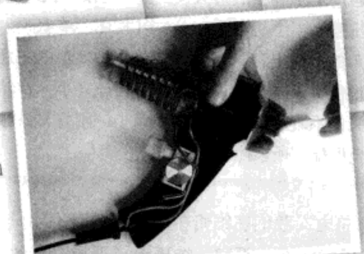


图3 清理扇叶 用毛刷清理扇叶，没有毛刷就用旧牙刷代替吧

图4 清理进风口 用毛刷或牙刷清理进风口和外壳内的杂物

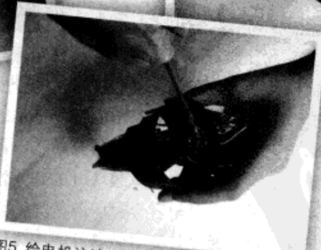


图5 给电机注油

图6 给电机转轴另一边注油，滴一点就可以

话说家电维修中的几个认识误区

◎王绍华

笔者从事家电维修30余年，经常接修一些别人送来的二手机（修理未果的）。然而在修理这些二手机时，发现有些修理者在更换元件时存在一些误区（错误的认识），有时恰好是故障不能排除的原因。下面举例说明：

误区1：滤波电容容量越大越好吗？

有一台21英寸TCL彩电，经市电整流后的+300V滤波电容（100μF/400V）因市电错相，导致电压过高而击穿，前位修理员将其换成470μF/450V，结果出现通电后交流输入保险管（2A/250V）就熔断。他认为电源部分还存在其他轻微短路点，为此花费了不少时间，也未查出。我接修后，将他更换的滤波电容重新换成100μF/400V的规格后，故障消失。原来，滤波电容并非容量越大越好。容量越大，在开机（尤其是冷机）时的初始充电电流越大，大电流将会使保险管熔断。若将保险管熔断电流加大，又会对市电整流二极管造成过电流冲击，这也是不利的。通常470μF/450V电容是作为29英寸以上彩电的电源滤波电容，它们的电源保险管通常是3.15A/250V或4A/250V规格，市电整流二极管通常为6A/400V规格的。

误区2：同容量同耐压电容体积越小越好吗？

有人在换件时特别喜欢小体积电容，认为小体积电容不但所占空间小，也比较美观。实际上这并不完全正确。不少电容工作在脉冲电流的作用下（比如滤波电容、行逆程电容、S校正电容等），这些电容工作时温度较高，我们在修机器时常看到有些电解电容的外包塑料皮因受热变黄或向下收缩。在这种情况下电容很容易变质或容量减小成为故障的主要原因。较小体积的电容对散热不利，会因温升过高而加速损坏。在实际维修中，我们常常看到小体积高压瓷片逆程电容过热发黄炸裂，却很少看到体积较大的聚苯烯逆程电容炸裂（当然还有电容介质的原因）。

误区3：同容量电容耐压越高越好吗？

有人认为电容耐压越高越不容易击穿，使用寿命就会越长。其实这种认识并不完全正确，一般说来，同介质材料的电容器耐压越高体积越大，在空间有限的情况下难以安装。另外，在某些彩电开关电源中，+300V电源滤波电容除滤波外，还有一个任务就是对开关电源厚膜块（或开关管）起过压保护作用。当电源过压时，电容会过压而击穿，并熔断输入保险管，从而避免对后面的开关电源管（或厚膜块）造成损坏。因此400V耐压就可以，不要选用450V以上的。

误区4：同阻值电阻功率越大越好吗？

在修理工作中，电阻损坏比较常见，有人认为选用功率更大规格后，电阻的温升相对较低，使用寿命就会较长些。其实这一观点有时会误事。大家知道，各种电器电路中有不少电阻担任保险任务，俗称“保险电阻”，它有过流熔断特性，一旦过流，迅速熔断，从而避免故障进一步扩大。如果换用功率更大的电阻，当发生过流时，被保护电路元件将不受保护，导致故障进一步扩大。笔者曾检修一台起火烧过的北京牌彩电，发现前位修理员将12V限流保险电阻（4.7Ω/0.5W）换成了4.7Ω/2W普通电阻，结果电阻倒是没有过流烧断，却使得对比度调节电位器发热燃烧起火，烧坏控制面板。幸亏及时扑救，才未酿成大祸。造成此故障的原因是对比度调节电位器是12V供电的一个负载，电位器动触头磨擦下来的碳粉落到内部的金属壳内形成对地短路。因此保险电阻熔断一定是有原因的，切勿随意加大其功率参数。

误区5：三极管的功率越大越好吗？

当彩显、彩电的电源开关管、行输出管损坏时，有人将其换成功率更大的管子，认为这样更保险，但实际并非如此。因为导致它们损坏的原因除过压、过流外，还有因欠激励、过激励造成内部损耗过大而损坏。它们均工作在开关状态，就像放水的闸门，要不断地开启和关闭，这是需要一定的激励功率的。不同的管子所需的激励功率是不同的，一般来说，同类型管的功率越大，相应的激励功率也越大。在电路设计时对开关管的激励功率与开关管所需的激励功率是基本匹配的，如果电路状态发生变化，例如行推动管β值下降、集电极负载电阻变大、行推动级滤波电容漏电，均会使输出的行激励功率降低，导致行输出管因欠激励而损坏。若这时换用功率更大的行输出管，会使激励功率更加不足而更快损坏。笔者曾遇到一台21英寸金星彩电，原机行输出管2SD1555损坏，后被人换上2SD2253（25~29英寸机用的行输出管），上机不到20分钟就损坏，笔者改用2SC4769（彩显用的行输出管，1500V/50W，与2SD1555功能相同），温升很低，不再烧管。原来该管结电容小、存储时间短、开启和关门损耗小、所需激励功率小，刚好与该激励功率降低的彩电匹配，所以能正常工作。

总之，我们在维修中考虑问题时不能只看到问题的一面而忽视另一面，否则，结果会更严重，导致维修工作陷入困境而浪费更多的时间。

电脑维修DIY

怎样应对电脑蓝屏

◎段丽红

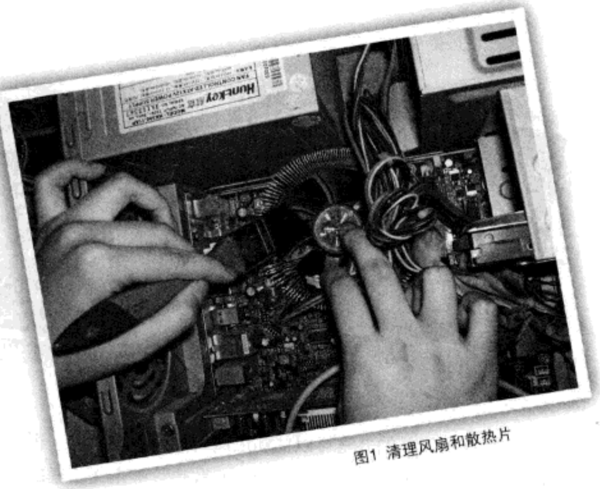


图1 清理风扇和散热片

电脑用户谁还没有碰到过死机的烦恼？蓝屏故障常常像蓝色幽灵一样不期而至，有时会在工作中突然出现，有时开机甚至进不了系统。当遇到这种情况时，耽误了手头的工作，常会令人急火攻心。找人修理也不一定能召之即来，有人可能会祭起其浴火重生的法宝——“一键恢复系统”，这种时光倒流的方法有可能管用，但也会丢失一部分数据和信息， 想到苦心经营的一些程序和设置可能会瞬间阴阳两界，你可能会于心不甘，况且一键恢复也不一定能起死回生。那好，在电脑日益普及的今天，自己动手修理一下吧。什么？你还是个菜鸟，没关系，熟能生巧。电脑这些基本的维护是很平常的事情，越来越司空见惯，就像我们使用一些电脑的应用软件一样，人人都能学会。

电脑是硬件和软件的完美结合，所以，检修电脑故障也要从硬件和软件两个方面入手。一般来讲，维修电脑的故障是先从软件方面考虑，然后考虑硬件，但是对蓝屏的故障来讲，要具体问题具体分析。蓝屏是系统死机后故障提示的界面，乍看如同天书，多数人难明其意，对普通的用户可能作用不大，作为一般的电脑使用者，如果遇到这样的情况，一般采用以下处理的办法。

1. 重启系统，或者进入安全模式重启系统。这是很多用户遇到死机和蓝屏时的第一选择，如果这一步骤能够奏效的话，那就简单了。

2. 重启不能奏效，分析是不是系统资源不足，如果是电脑的配置不高，而且运行的程序太大，就会消耗系统资源，各种操作反应缓慢，进而导致蓝屏，系统瘫痪，只能靠重启恢复控制。查明原因，解决的办法就简单了，就是删除不必要（或者说是不能运行的大的程序）程序，优化软件，当然也可以升级硬件配置，这就要另当别论了。

3. 当有病毒入侵电脑系统的时候，可能会引起死机和蓝屏的故障，如果还能进入系统，可以用杀毒软件进行杀毒的处理。

4. 手头的杀毒软件不起作用，说明可能是感染了不能杀掉的病毒，也可能是硬件有故障，这时可以打开电脑的机箱进行以下的处理。

（1）检查 CPU 电风扇和散热片，CPU 的散热关系到整个电脑的稳定，是散热故障发生的重灾区，散热不好会使 CPU 的温度过高导致电脑工作异常。实际上，进入 BIOS 设置，你也可以知道 CPU 的工作温度，一般不要超过 60℃。风扇正常工作的时候应该没有杂音，用手轻轻触摸也不至于停止

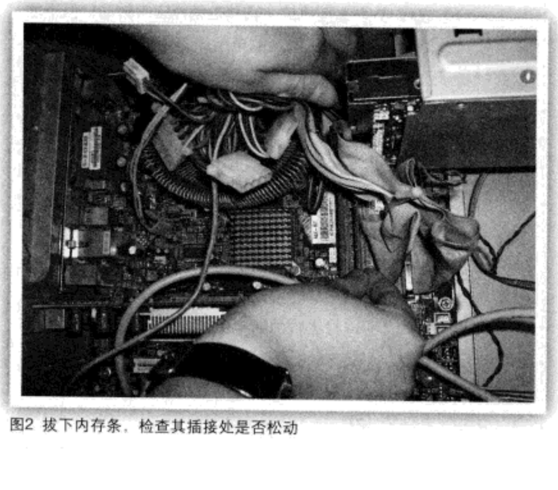


图2 拔下内存条，检查其插接处是否松动

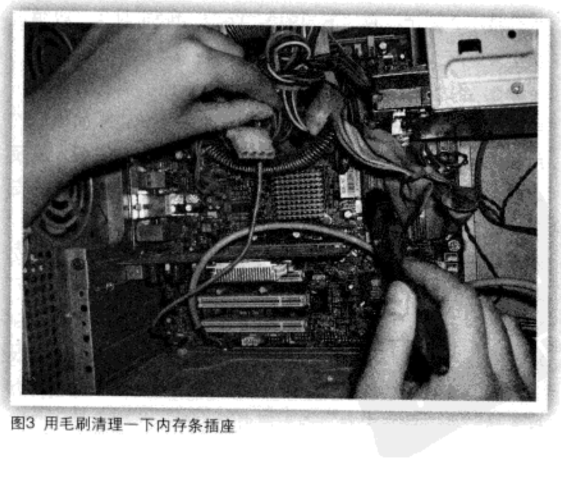


图3 用毛刷清理一下内存条插座

图4 用橡皮清理内存的插接处，使“金手指”闪出光亮

图5 对付无孔不入的灰尘杀手用吹风机最好

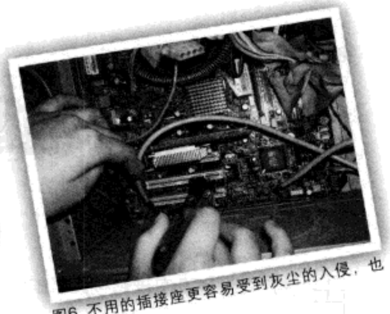


图6 不用的插接座更容易受到灰尘的入侵，也要注意清理

转动。用这种简单的办法可以估测风扇转动是不是有力，很多机器工作环境不好，风叶上积尘以及散热片被杂物堵塞的情况也比较多见。遇到以上的情况要对散热片进行清理（见图 1），严重的时候要把散热片拆下来清理干净，或者更换一个好一点风扇才能解决问题。风扇一般没有注油维修的必要，建议采用质量好、口碑佳的品牌风扇，还要注意涂上散热硅脂，保证 CPU 和散热片的接触。显存上的散热也很重要，经常玩大的游戏，也要注意显存风扇和散热片的使用情况。可想而知，遇到上述头疼脑热引起蓝屏的话，如果一味从软件入手的话，就要南辕北辙了。

(2) 风扇和 CPU 的温度如果正常的话，就要检查内存了。内存是电脑的主要部件之一，可一旦它出现了毛病，则机器难免就磕磕绊绊，危在旦夕了。可以试着把内存条拔下（见图 2），检查一下内存条是否松动，用毛刷清理一下内存条插座（见图 3），用橡皮清理一下内存条插拔处上面的污渍，擦出亮光（见图 4）。

(3) 主板上的灰尘也会成为杀手。用毛刷清理一下主板上和插座的灰尘（见图 5、图 6），灰尘过多也会使电脑出现一些莫名的故障。主板和插座上布满灰尘的话，很容易造成短路而引起死机，彻底清理这些接口可以用脱脂棉花棒和无水酒精小心擦拭。那些不用的接口可以用胶带封住，以防止灰尘乘虚而入。

5. 经过以上简单的处理，如果电脑还不能恢复正常，可以考虑一键恢复或重装系统。现在重装系统也很简单，利用系统光盘，设置光驱启动就可以实现完全自动安装。重装之前，要注意把个人的文档从C盘转移出来，现在的系统安装文件也有专门的程序用于保存数据和文档，越来越方便。如果电脑还能进入系统的话，也可以采用虚拟光驱进行安装，需要提前做两方面的工作：（1）安装虚拟光盘软件，如demon tools，（2）下载ISO系统镜像文件，如：深度ghost XP SP3 V、雨林木风ghost XP SP3 YN等，这些资源网上是很丰富的，（3）然后利用虚拟的光驱加载运行已经下载好的镜像系统文件。整个安装过程也是自动安装，无需干预，方便之极。

经过以上的步骤，一般的故障就可以排除，不得已你可以进行全盘格式化重装一试，还不行的话，就要找更专业的人员修理。还有一个比较常见的原因是主板上的电容劣化，只要能明显看出CPU的供电电容出现鼓肚的情况，就有必要进行更换了。如果有一定维修经验且时间充裕的话，自己动手更换也是完全可以的。至于硬盘的故障引起的死机和蓝屏，一般必须用专门的软件或者专业的人员修理，严重时只能更换硬盘了。

以上是普通用户对付蓝屏的方法，是一些基本的策略、步骤，当然，如果没有要保存的数据，你也可以优先考虑一键恢复或者系统重装。总之，了解以上的方法会给你的工作和学习带来很多的方便，久而久之，也会给你带来自己动手的情趣。电脑本身虽然很复杂，但其模块化的结构使更多的人维护和修理电脑成为可能，加入电脑DIY的行列，您还犹豫什么呢？

小贴士

◎周瑞卿

遥控风扇“不摇头”故障检修

一台汇成牌J3Y型遥控风扇，各挡位都能正常转动，但不能摇头吹风，测交流同步电机两端的电阻，其阻值正常，置摇头状态（指示灯亮），测交流同步电机两端电压，无220V交流电压。再测控制板上晶闸管的G极，电压正常。将用于控制速度的晶闸管与其代换，也无效，有时电机也能空转。如果把晶闸管的K、A极短接，则电机转动正常，很明显故障是晶闸管未能导通。既然控制极K电压能正常变化，说明BA8206BA4集成电路及其外围电路应该是正常的，那么问题在哪里呢？

冥思苦想，无意中测量了一下集成块的供电电压，吃了一惊！竟然只有2.9V，断电，检查5.6V稳压管，反向电阻变小，换新的稳压管后，测得稳压管两端电压为5.6V，当按下开/关键时，电压又降至2.9V左右。果断拆下1μF/400V的电容，用数字表检测，只有0.9μF，容量明显变小，换上新件后试机，“摇头”功能恢复正常。

艾美特电磁炉不加热故障的维修

◎李少怡

一台艾美特CE2088DL型电磁炉，开机放锅后不加热且有“哒哒”响声。该故障在维修时比较少见，且已确定为主电路板（AMT-01-POWER）受损。为此，对高低压供电电路、LC振荡电路、驱动放大电路、同步电压比较电路、高压检测电路、电网电压检测电路、电流检测电路及浪涌保护电路进行检修，相关电路如附图所示。

1. 高低压供电电路

将电磁炉前、后机壳拆开，接通电源，用500型万用表测得高压供电电路中滤波电容器C2（4μF/275V）两端的电压为+305V；测得低压供电电路中，开关电源模块SP连接点(4)脚对地电压为+18V；测得调整管VT7（8050D）发射极对地电压为+5V，以上电压值均为正常值。若异常，很有可能是整流电路DB1、滤波电容器C2、开关电源模块、调整管VT7、稳压二极管Z3或贴片电容器C9（0.1μF/50V）等元器件损坏。

2. LC振荡电路

取下加热线圈盘，接通电源，测LC振荡电路（即IGBT管集电极C对地电压），此电压快速上升至+100V后又降至+0.4V，电压正常，再测IGBT管控制极对地电压，电压正常。若上述电压异常，有可能是滤波电容器C2、共振电容器C3（0.3μF/1200V）、IGBT管、贴片三极管VT2（8050D）、VT3（8550D）及比较器IC1（LM339N）等元器件损坏。

3. 驱动放大电路

通电，测驱动放大电路中贴片三极管VT2（8050D）集电极C对地电压（+18V），正常。基极、发射极的对地电压，正常。测VT3（8550D）集电极、基极、发射极的对地电压，正常。若上述电压异常时多为开关电源模块、贴片三极管VT2（8050D）、VT3（8550D）、比较器IC1（LM339N）及排风电扇等元器件损坏。

4. 同步振荡电路

将电磁炉加热线圈盘安装上并接通电源。测同步电压比较电路中的比较器IC1C 的8脚（反相输入端）对地电压，即V-取样对地电压（+3.8V），电压正常。测9脚（同相输入端）对地电压，即V+取样对地电压（+4V），电压正常。测14脚（输出端）对地电压+5V，电压正常。若上述电压异常，多为整流桥堆DB1、滤波电容器C2（4μF/275V）、比较器IC1（LM339N）、取样电阻R3（240kΩ/0.5W）、R4（240kΩ/0.5W）、R5（240kΩ/0.5W）、R6（240kΩ/0.5W）、R7（240kΩ/0.5W）、R8（240kΩ/0.5W）、R18（10kΩ）、R26（100Ω）、电容器C20（220pF/50V）及C21（100pF/50V）等元器件损坏。

5. 高压检测电路

给电磁炉通电，测高压检测电路中比较器IC1A 的4脚（反相输入端）对地电压，即V-取样对地电压（+1V），电压正常；测5脚（同相输入端）对地电压，即V+基准对地电压（+3.4V），电压正常；测2脚（输出端）对地电压（+3V），电压正常。若上述电压异常，多为整流扁桥DB1、滤波电容器C2（4μF/275V）、比较器IC1（LM339N）、R5（240kΩ/0.5W）、R6（240kΩ/0.5W）、R7（240kΩ/0.5W）、R8（240kΩ/0.5W）、R18（10kΩ）及C21（100pF/50V）等元器件损坏。

6. 电网电压检测电路

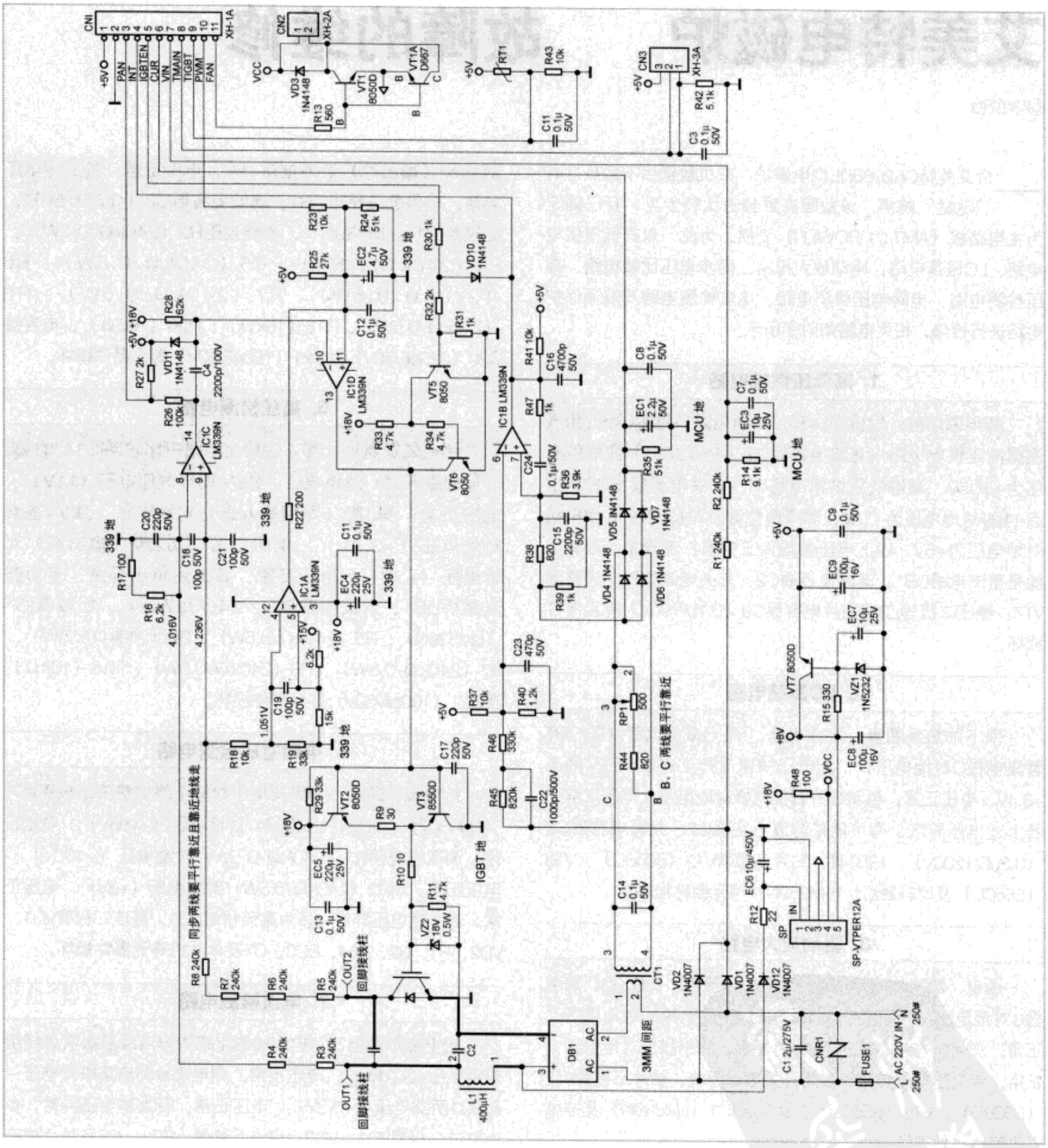
给电磁炉通电，测电网电压检测电路中整流二极管VD1（1N4007）、VD2（1N4007）对地电压（+195V），电压正常。测取样电阻R1（240kΩ/0.5W）对地电压（+100V），电压正常。测R2（240kΩ/0.5W）对地电压（+3V），电压正常。若上述电压异常，多为整流桥堆DB1、整流二极管VD1、VD2、R1、R2、R14、EC3、C7及单片机等元器件损坏。

7. 电流检测电路

给电磁炉通电，测电流检测电路中电流互感器次级绕组对地电压（+0.6V），电压正常。测电流检测电路取样电压，即EC1两端电压（+0.2V），电压正常。若上述电压异常，多为整流二极管VD1、VD2、电流互感器、EC1、C8及单片机等元器件损坏。

8. 浪涌保护电路

给电磁炉通电，测浪涌保护电路中比较器IC1B的7脚（同相输入端）即V+基准对地电压+2.8V，正常。测6脚（反相输入端）对地电压，即V-取样对地电压，电压上升



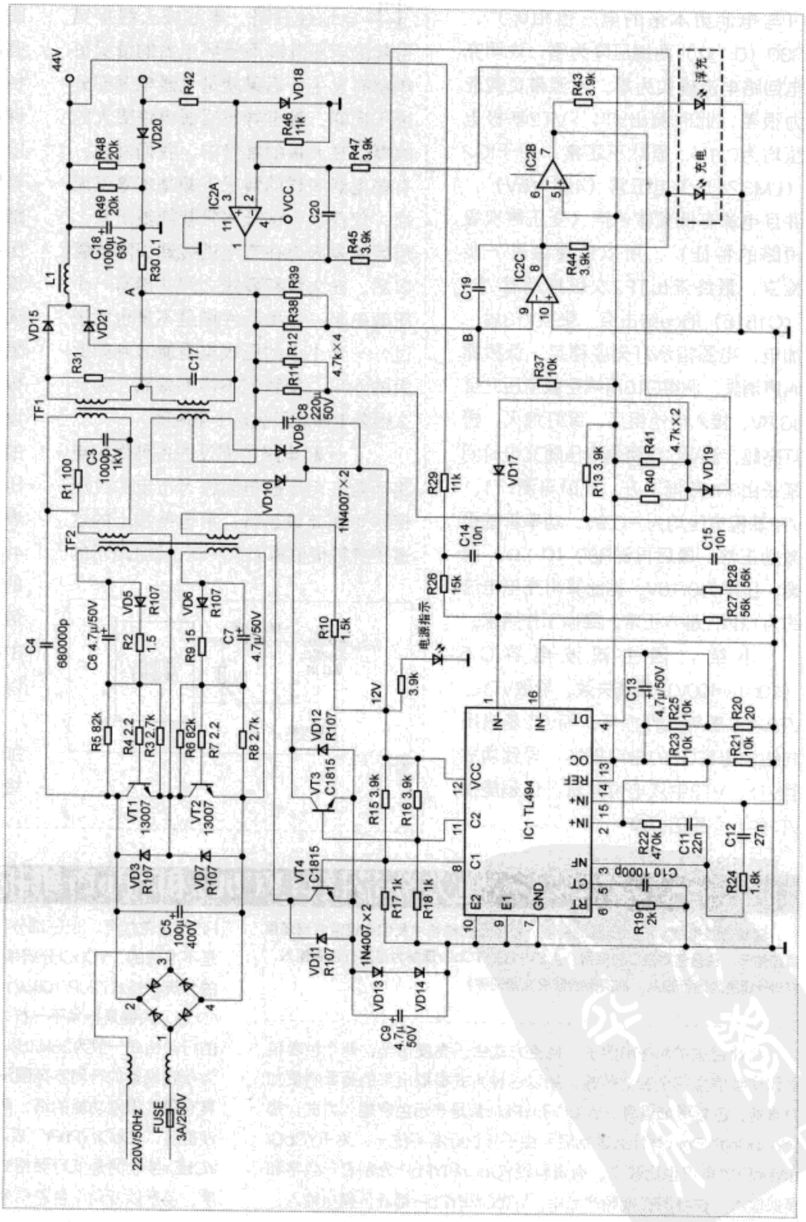
至+2.9V，正常为+0.8V，测1脚（输出端）对地电压正常为+4.8V，电压正常，再测浪涌电阻R45（820kΩ/1W）低端对地电压，电压上升至+180V（正常为+55V），可以确定是加速耦合电容器C22（1000pF/500V）存在漏电！将C22焊下，用万能表电阻10kΩ挡检测，发现已严重漏电。由于C22漏电造成IC1B 的6脚（反相端）电压高过7脚（同相端）电压，致使IC1B翻转由高电平变为低电平，故而导致电磁炉出现上述故障。将已受损的加速耦合电容器C22更换，通电、放锅、试机，电磁炉正常，故障排除。

电动车充电器屡损功率管的检修

◎梁明义

一辆五征牌电动车加电后两指示灯均不亮，初步判断是专用充电器有故障。打开电源外壳，发现内部电路采用TL494+LM324组合，现根据实物绘出电路原理图，如附图所示。首先检查保险丝管（3A），该管内部发黑，已爆裂，主电路上功率管VT1（13007）已击穿，再检查其他元件，未见异常。更换以上元件后，测交流电进线端，阻值正常，试加电，“啪”地一声，保险丝管再次烧断。检查VT1（13007），再次击穿，VT2（13007）be结也烧断，其基极限流电阻R7（2.2Ω）烧断。拆掉损坏的VT1、VT2，测交流电进线端，呈短路状态，进而查出整流桥有两只二极管反向击穿。因为整流二极管的损坏或与主滤波电容C5（100μF/400V）有关，因此取下C5，发现已漏液损坏。将4只整流二极管、保险丝管、VT1、VT2、C5以及R7全部更换。这次为防止炸管，暂时未将VT1、VT2的C极接入电路，加电，测得VT1、VT2的中点电压为65V左右（正常应为155V左右）。检查偏置电阻R2～R7、二极管VD5～VD8均无问题，最后查出C7（4.7μF/50V）漏电，更换该电容后中点电位恢复正常。

将VT1、VT2的C极接入电路，检查无误后，空载加电，发现电源指示红灯及充电状态指示绿灯（浮充）均亮且微微闪烁，同时电源板发出“吱吱”



的低频叫声。测得IC1（TL494）12脚（电源电压）为12V、14脚（输出的参考电压）为5V、C18（1000μF/63V）两端的空载电压为42.8V（略偏低）。将电池组接入充电电路，绿色指示灯仍亮，测得C18两端电压为38.6V（与电池组本来的电压值相等）、R30（0.1Ω）两端压降为零，说明充电回路电流确实为零，电源带负载能力很差，此时测出VT1、VT2基极电压均为0.1V，显然不正常。由于IC2（LM324）供电正常（4脚为5V），并且电源有低频啸叫声（变压器次级短路的特征），所以还要做进一步检查，最终查出TF2次级推动管VT3（C1815）的ce结击穿。更换VT3后，加电，电源指示灯亮度稳定，低频啸叫声消失，测得C18两端空载电压升至43.8V。接入电池组后，绿灯熄灭，橙灯亮起，测得C18两端电压随充电时间延长由39V逐渐上升，此时再测VT1、VT2基极电压均为－0.9V，功率管基极激励正常。最后再测R30（0.1Ω）两端，压降为0.16V，据此算出充电电流约为1.6A，基本正常，维修工作结束。

小结：因主滤波电容C5（100μ/400V）漏液失效，导致VT1、VT2功率管等元件损坏，而VT2基极反向钳位电容C7的击穿损坏，导致功放管VT1、VT2中点电位异常，也是屡损VT1的一个原因。

维修感悟

小小压敏电阻作用大

◎李洁

在保险公司理赔的事件中，由于市电地线开路、零线或火线接错引起的电压升高而损坏电器的情况每年都有发生，后果就是电器电源部分过压损坏，甚至导致后面电路更大的故障。在大量的维修中，我们发现，有些电器同样的情况下却基本毫发无损，仅仅换个保险丝管就恢复正常，原因就是因为在市电进线端保险丝管以后，在火线和零线之间并接有一个压敏电阻。这类元件你是不是也发现过？一个小小的压敏电阻能起到如此大的作用，使我们不得不感慨，为什么很多电器就不装这个电阻呢？

比起电路内部设的各种保护电路而言，用压敏电阻作为市电的过压保护可谓简单易行，给电器加上的这道护身符很值得大家一试。图1所示的是压敏电阻接入位置的原理图，相信一般的爱好者不会有任何困难。简单说说其保护原理，压敏电阻器是一种具有瞬态电压抑制功能的元件，可以对电气设备进行保护，使用时只需将压敏电阻器并接于被保护的设备电路上，当电压瞬间高于某一数值时，压敏电阻器阻值迅速下降，导通大电流，进而会导致保险丝熔断，从而实现保护电器设备。当电压低于压敏电阻器工作电压值时，压敏电阻器阻值极高，近乎开路，因而不会影响电器设备的正常工作。图2所示的是常用的市电保护压敏电阻MYG 10K471，压敏电阻用字母“MY”表示，G代表过压保护，471代表保护电压为47×10=470V，可能有人要问，220V的市电为什么要用这么高的保护电压值，因为220V是有效值，峰值能达到310V,而一般保护选取峰值的1.5倍，所以就大约为470V。

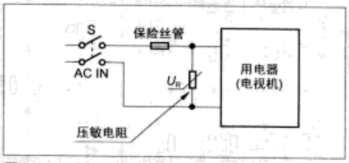


图1

图2

花钱少，作用大，毫不夸张地说加装压敏电阻（过压做电器保护器）绝对是事半功倍的选择。

解惑析疑

色差分量接口YCbCr和YPbPr辨析

◎段丽红

随着有线电视和高清电视的发展，在使用和维修中我们会经常遇到还原高清信号、色差信号接口的应用。人们一般把YCbCr理解为是隔行色差输入，YPbPr理解为逐行输入，而实际的情况又如何呢？

相比过去的AV和S端子，色差方式由于亮度信号、两个色差信号和音频信号完全独立传输，所以这种方式提取出来的画面将更加的清晰、色彩更加逼真。YCbCr和YPbPr都是表示色差输入方式，那么YCbCr和YPbPr有什么区别呢？由于标识标准不统一，关于YCbCr和YPbPr的争议也比较多。有资料说YCbCr和YPbPr分别表示数字和模拟输入。在我国在视频产品中，YCbCr和YPbPr都表示模拟输入，比较多的说法是YCbCr表示的是隔行，YPbPr表示逐行输入或者高清HDTV色差信号，但仔细分析一下就可以知道用逐行和隔行来区分也是不准确的，YCbCr分辨率一般在480i/576i的格式，YPbPr表示更高的分辨率格式720P/1080i/1080P，可见YPbPr也可以输入隔行的信号1080i，关键是行频不一样，480i/576i的行频为16kHz，而YPbPr表示的行频格式一般为28kHz以上，高清的格式肯定也在28kHz以上。因为接收设备的行同步范围没有那么宽，所以要设置两个接口，如果具有模式识别功能的话，两个接口就可以合二为一了，因此也有的设备用“YCbCr/YPbPr”表示可自动识别隔行/逐行色差信号。总之，YCbCr接收的是低行频格式，YPbPr接收的是高行频格式。由于亮度、色度以及两个色差信号之间都分别独立传输，所以色差输入也称为高清信号的模拟输入接口，画质方面要比S端子好得多。

短路法在彩电维修中的应用

◎王玉龙

短路法是常用的一种检修方法，那么在彩电的维修中又有哪些应用呢？本文简述这个问题。

所谓短路法就是将某些关键点人为短接，通过观察短接后的彩电反应，从而确立故障范围的一种方法，现举例如下：

确定开关电源失控是由于误差取样电路还是脉宽（频率）控制电路的故障引起

彩电开关电源输出电压升高（即失控）是一种常见故障，该故障有可能是取样误差放大电路发生问题所导致，也有可能是电源的脉宽控制或频率控制电路发生故障。为了快速区分故障范围，可将电源所用的光电耦合器（现在彩电绝大多数都采用光耦合器进行电压控制，其优点是控制精度高、响应快、又能起到冷、热地隔离作用）中接光敏三极管的那两个极短接。如果电源输出电压几乎为零，证明故障在取样及误差放大电路，若输出电压不变，则故障必在脉宽（频率）控制电路。

例1 一台TCL-AT25228型（超级芯片TMP8809机芯）彩电，在收看中光栅突然变亮缩小，随即自动关机。

由现象分析，可能是显像管阳极高压过高所致，引起高压过高的可能原因有两个：一是行逆程电容失效（焊点开路或本身容量减小）；二是电源+B电压输出过高。经进一步检查，证实行逆程电容并未失效和开焊。看来故障在稳压环路。该机的稳压原理是：当某一原因使电源输出电压升高时，流过稳压管VD838（见图1）的电流增加，也就是流过控制管VT832的基极电流增大，导通增加，集电极电位下降，流过光耦器IC802的1、2脚中的发光二极管电流增大，亮度增加，引起内部光敏三极管的c、e极间的等效电阻减小，使流入厚膜块MC44608的3脚电流增大，5脚输出脉冲宽度变窄，控制开关管VT801导通时间减小，电源输出电压下降。反之亦然。根据上述分析，首先短接光耦器IC802 的3、4脚，然后悬空电源各路输出，以防电源输出过压损坏电路元件。在+B（140V）端对地接一只220V 100W灯泡，试机，结果灯泡不亮。显然故障应在电源取样及误差放大电路。经对VT831、VT832、VR830、IC802等相关元件进行检查，结果发现IC802的1、2脚正、反向电阻均为零，说明内部发光二极管已击穿。更换IC802后故障排除。

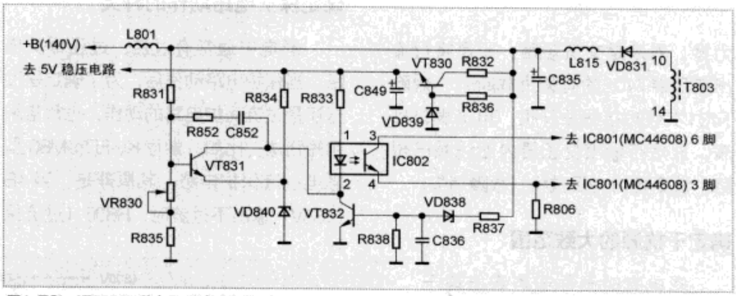


图1 TCL-AT25228彩电开关电源局部电路

确定行输出电路是交流短路还是直流短路

彩电行输出电路属故障高发区且多数是短路故障，但有时是交流短路，比如行输出变压器次级绕组匝间短路或行输出变压器次级的负载短路。有时却是直流短路，比如行S校正电容、行阻尼管、行输出管、行逆程电容等击穿。那么如何确定是交流短路还是直流短路呢？方法很简单，就是将行推动变压器次级焊点直接用导线短路，如果电源输出电流锐减（可事先在电源+B电压输出端电路中串一个1A左右电流表），说明原行输出电路存在的是交流短路，这是因为短接行推动变压器后等于取消了行激励信号，行输出管不工作。如果行电路存在的是交流短路，就好比是取消了这个交流短路，所以电源输出电流大大减小。反之，如果电流表电流几乎不变，则说明原行电路存在的是直流短路。

例2 一台康佳T2990NT型彩电出现无图无声但电源指示灯亮故障。

经分析，故障可能是保护电路动作所致，于是断开去行输出电路的+B电压限流电阻R414（0.33Ω），串入1A直流电流表，试机，发现指针打表（超过量程），显然行输出级有短路故障。为了确定是交流短路还是直流短路，试将行推动变压器T401次级短路后试机，发现电流表指示几乎

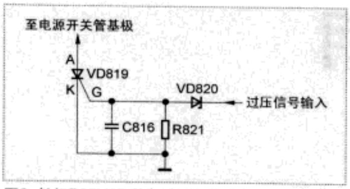


图2 长虹R25H3D彩电过压保抗电路

为零，看来是交流短路。于是将行输出变压器T402的有关负载断开，拆除T401次级短接线后开机，电流表仍打表，显然行输出变压器内部线圈已短路。试更换T402后试机，故障消失。

确定干扰源的大致范围

彩电有时画面或声音出现干扰故障时，也可以用短路法来确定。比如：如果是画面干扰故障，可分别从高频头IF输出端、中放输出端、视放输出端对地进行交流短路（通过一只0.1μF电容进行短接），如果短接至某一级，画面干扰故障消失，则说明故障在这一级或这一级以前的电路。由于检测是从前开始一级一级往后查，所以故障就在本级。如果短路这一级的信号输出端后干扰故障不变，则表明故障在这一级以后的电路中。比如，如果是伴音信号中含有干扰杂音，可分别从伴音中放输出端、伴音鉴频信号输出端、小信号音频信号输出端、功率放大器输入端进行交流短路，若短路某一级后，干扰杂音消失，说明故障就在这一级或这一级以前的电路中。

例3 一台海信TF2910G型彩电，图像不清晰，并伴有严重的木纹状干扰。

首先对地短接高频头IF（中频信号输出）端子，结果出现蓝屏，但蓝屏上仍有干扰。接下来将小信号处理集成电路TB1238AN的视频信号输出端35脚对地通过一只0.1μF的电容进行交流短路，结果故障依旧。据此，说明故障可能在末级视放电路。根据经验，末级视放电源滤波电容属易损元件。于是焊下末级视放滤波电容C604（22μF/ 250V）检查，发现一脚周围已有漏液，容量明显减小。更换C604后试机，故障排除。

确定保护电路动作的种类

彩电中通常有过流、过压保护电路，当保护电路动作后，为了确定是过压还是过流保护电路的动作，也常常采用短路法。比如，索尼KV-EF29M80型彩电过流保护电路，其原理是：当+B（135V）输出不过流时，R886（过流保护取样电阻）两端压降很小，保护动作控制三极管Q803因基极电压较高而截止，故集电极所接的分压电阻R860、R861连接点无保护电压输出。当+B1端输出过流时R886两端压降增大，即R886右端电压降低较多→Q803(PNP)基极电压↓→Q803饱和导通→R860、R861连接点有保护电压输出→CPU发出关机信号，整机得以保护。所以当CPU发出关机指令后，为了确定是不是过流保护电路动作，只要短接R886两端就能知晓。若短接后保护电路不再动作，则必是过流保护电路动作无疑，则故障不是真过流就是过流保护电路元件变质或损坏产生误动作。

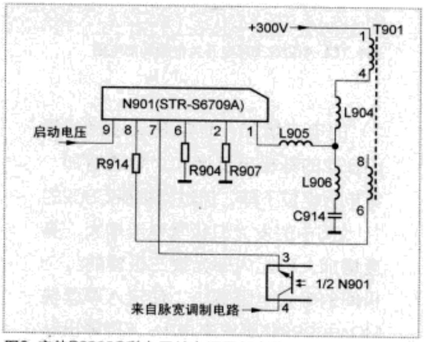


图3 康佳P2990C彩电开关电源局部电路

再比如，图2所示的是长虹R2513D彩电过压保护电路，其原理是：当彩电电源输出电压或市电输入电压过高时，稳压管VD820击穿,晶闸管V819被触发导通，将电源开关管b极强行接地，使开关管停振，电源不工作，整机得以保护。因此当电源无输出时，为了确认是电源本身损坏还是过压保护电路动作，我们可以人为将R821短路，使V819 G极直接接地，这样就解除了过压保护。若这时电源仍无输出，则必是电源本身故障（因该电源具有过压保护）。反之则是过压保护电路启动。

例4 一台康佳P2990C彩电，不能开机。

经查，开关电源已停振。查电源厚膜块N901（STR-S6709A）9脚已有10V启动电压。为了判定是开关电源还是负载问题引起开关电源保护性停振，试断开+B 135V输出端，在+B端对地接一只100W灯泡试机，发现灯泡灯丝并未发光。怀疑开关电源有问题，是否开关电源带负载能力差呢？于是将100W灯泡换成15W灯泡试机，果然灯泡点亮，且+B 135V电压正常。考虑到如果是电源带负载能力差，当负载接通后电源电压会下降很多，不会为零，因此怀疑是电源的过流保护电路出现故障。该电源的过流保护取样电阻R907（0.15Ω）在N901的2脚（见图3），它与N901内部开关管的e极相连，当e极电压达0.15V时，N901内部过流保护电路动作，开关电源停振。如果R907阻值增大，就会导致电源误保护。试将R907两引脚短接后试机，电源输出恢复正常。接通+B输出后开机，电视机一切正常。据此说明R907变值。经检查，其阻值已由0.15Ω增至3.2Ω，更换后机器恢复正常。

上述的短路法其实还有很多应用，限于篇幅，不再列举，这里权作抛砖引玉。

Q&A 问与答

Q 有一款纽曼MP3播放器，在一次拷贝歌曲后，发现原来删掉的歌曲文件又重现、而且在MP3播放器上无法删除等故障。仔细看了说明书和请教了内行，用该机管理程序对其进行了格式化，点击电脑的“开始—程序—Sigmatel Mscn Audio Player—format”，打开管理程序，进行了格式化，但故障依旧存在，且出现无法拷贝，容量减小等新问题。再用Windows自带的磁盘整理工具格式化也没用，问题究竟出在何处呢？ (北京 焦伟东等)

A 首先要注意，不能用Windows整理工具格式化，应该用随机的管理工具程序。打开管理程序SigmaTel MSCN Format，程序界面上可见两个标签，分别是Media Format和Media Recovery，应该勾选后者（即恢复模式），再点击“开始”。如果Media Recovery呈灰色不可用，说明连接方法不对，应关断播放器，然后按住其播放键不放，再连接电脑和播放器，开机后电脑会发现新硬件并自动安装驱动，等几秒后松开播放键，然后点击“开始”，格式化后，播放器就会恢复正常。 (王德沅)

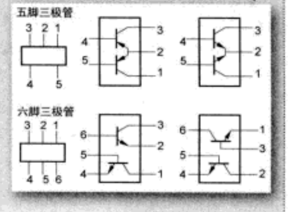
Q 一台牌号不明的微波炉发生不加热故障，经检查，发现高压整流二极管损坏，但是无法看清其型号，不知能用什么类型的高压二极管代换？

(山西 张 康)

A 微波炉高压二极管的作用是与高压电容组成半波倍压整流电路，为磁控管提供直流阳极高压。高压变压器的次级绕组输出2100V左右的交流电压，经高压二极管和高压电容倍压整流后，获得4000V左右的直流高压供给磁控管使用。通常微波炉的高压二极管，只要主要特性参数相同或相似，外形尺寸不影响安装，一般都可相互代换。通常可以选购型号为T3512、T4512、HVM12、RG012等高压二极管代换，可以向当地相关维修部联系购买，也可以联系邮购或网购。 (王德沅)

Q 问：我们在维修数码相机、随身听播放器、便携式DVD等数码产品时，常常看到有5个和6个引脚的黑色片状晶体管，不知这些晶体管是什么类型的，如何识别管子的引脚？ (新疆 周剑 刘福勇)

A 这种片状管一般是双三极管，其内部是由两个三极管组成的。其中，5个引脚的晶体管通常是将两个管子的发射极连接在一起作为一个公共的发射极。而6个引脚的晶体管内部两个管子的b、c、e极都单独引出。具体内部结构和引脚的关系如右下图所示。维修时，通常可用万用表测量判断各个引脚。



(王德沅)

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 一款主芯片采用瑞星RK2606的MP4播放器，使用半年多后出现播放声音很轻且失真较大的故障，怀疑耳机插头插座接触不良，但反复检查插头、插座和相关连接线等都没发现问题，不知怎么排除这种疑难故障？

(湖北 何德煜等)

A 对此故障，首先应该检查音频功放级的电源电压（VDD为 3.3V左右），如果正常，再检查主芯片RK2606的79脚（Positive power supply to output amplifiers，音频输出级正电源端）电源电压，正常为1.8V左右。如正常，可仔细检查音频功放集成块的周边元器件和电路，通常以元器件脱焊或集成块损坏为多见。如果音频功放级的电源电压不正常，大多是RC电源滤波电路的故障，以电阻不良的可能为大。倘若是RK2606的79脚电压不正常，则大都是串接的10μH磁珠电感或印制电路断线所致，维修时若难以查到故障点，可在VDDO(有些播放器是VDDAO)端处连接一条飞线，再接一个10μH的电感到主芯片的79脚就行了。 (王德沅)

Q 使用日久的微波炉往往会发生起火或打火等现象，有时甚为吓人，好像会引起火灾，用户常常感到不安。我们发现，除了烧烤型微波炉比较容易发生起火现象外，有些非烧烤型微波炉也会出现这种故障，这是为什么？怎么进行检修？ (安徽 范 桦等)

A 造成起火故障的主要原因有两个：一是烧烤型微波炉的加热管及其周围积有较多油垢所致，二是微波发射腔的云母片被碳化而致。后者主要是由于用户使用金属容器或干烧等而导致磁控管、发射腔和云母片被烧蚀。前者一般是不会出现打火现象的，只要擦拭清除加热管及附近区域的油垢就行了，注意平时要经常清除油垢。后者的解决方法是，更换云母片并且彻底清除磁控管和发射腔上的烧痕、污垢和油腻，还应杜绝干烧及使用金属容器。 (王德沅)

Q 一个朗科牌2G闪盘，原来使用情况一直正常，最近想将闪盘内的文件拷贝出来，却发现插入电脑USB插口后，电脑不能识别闪盘，任务栏的移动磁盘图标和“我的电脑”中的盘符都没有，仔细检查电脑USB插口、闪盘插口及USB连接线等，都没发现异常，打开WIN2000的设备管理器，发现“通用串行总线控制器”前面有个黄色的惊叹号，这是什么原因？是否闪盘已经损坏？ (苏州 孙克林)

A 这种故障通常不是闪盘引起的，问题主要出在与电脑USB接口相关的软件中，最常见的是“通用串行总线控制器”注册表项损坏所致。此时可右键点击“通用串行总线控制器”下面的VIA USB UHC，再点击属性，就可看到弹出的属性框内提示“注册表可能损坏”，只要恢复重建过去正常的注册表就可解决问题。注意，平时要经常备份注册表，以备不时之需。 (王德沅)

Q&A 问与答

Q&A 提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 在瑞芯RK2706的MP4播放器中，有一片型号为HYM8563的集成电路，检查了很多资料不知是什么集成电路？该播放器播放的图像时常出现马赛克现象，是HM8563不良引起的吗？ (辽宁 陈文斌等)

A HYM8563是一款低功耗、宽工作电压范围的CMOS实时时钟/日历芯片。它提供一个可编程的时钟输出，可用于报警和定时器，一个中断输出和一个掉电检测器。所有的地址和数据都通过I^2C总线接口串行传输，最大总线速度为400Kbits/s。基于32.768kHz晶体振荡器可计时秒、分、小时、星期、天、月和年，使播放器实现世界时间、日历、秒表等功能。播放器时常出现马赛克图像现象与其无关。如果偶尔出现马赛克花屏，同时声音也异常，那么故障大都是因为Flash闪存的部分存储单元损坏，可以通过软件修复Flash的坏块或屏蔽其坏块来解决。倘若出现马赛克花屏时声音正常，则故障大都是SDRAM缓存集成块虚焊或损坏所致。 (王德沅)

Q 一台长城TD20-B型电磁炉中的电源模块VIPer12A损坏，新购一块同型号集成块，安装时却发现印制板上没有引脚标记（原器件早已拆除），因担心装反损坏集成块，不敢贸然操作，不知如何确认安装方向？ (陕西 冯鼎镇等)

A VIPer12A是TI 公司生产的开关电源集成电路。VIPer12A引脚功能如下：1、2 脚为IC（集成电路内部的）场效应开关管S极；3 脚为IC误差放大信号输入端，4脚为供电电源VDD端；5~8脚为IC开关管漏极端。1、2脚大都接地，也有少数电磁炉是接在18V供电续流二极管的负极，根据印制板上与VIPer12A的1、2脚或5~8脚连接的电路，就很容易确认集成块的安装方向了。 (王德沅)

Q 一台电磁炉中的电源集成电路VIPer12A被烧坏，当地只能购到VIPer22A，据说可以直接代换，不知两者的区别何在？是否能直接代换？代换时需要注意什么问题？ (山东 张永林)

A 开关电源集成电路VIPer12A与VIPer22A两者的内部基本结构、各个引脚功能和封装尺寸等都相同，主要不同点在于VIPer22A的最大功率比VIPer12A高，在输入电源电压范围为195~265V条件下，对于采用SO-8扁平封装的产品，VIPer12A与VIPer22A的最大功率输出分别为8W、13W；DIP-8双列直插封装的VIPer12A则为12W，VIPer22A为20W。所以，用VIPer22A通常可以直接代换VIPer12A，大多不需对电路作改动。而且由于允许功率大，可靠性相对较高，不容易被损坏，不过价格也相对较高。 (王德沅)

Q 有一款采用瑞芯微RK2606主芯片方案的MP3播放器，两个按键失灵，更换同型号按键后，播放器出现使用电池不能开机的故障，而USB供电时一切正常。重新补焊了SDRAM缓存芯片AT361716，但是故障依旧存在。再拆卸SDRAM芯片，检查电路，没发现什么问题，又重新装回去，却又出现开机就死机（停留在主菜单界面），不知何故？怎么解决？ (上海 高盛福)

A 这种故障大都与缓存芯片无关，很可能是焊接按键时，使印制电路板受了挤压，造成元器件脱焊、线路开裂，或者焊锡使印制电路短路、漏电等，从而导致用电池不能开机。检修时，可先测量电池电压，正常为3.6~4.1V。排除了电池问题后，可检查电源输入电路，元器件或线路脱焊的几率比较大。在拆装SDRAM芯片导致死机，大都是焊锡使电路短路、漏电等原因造成的，应先拆卸SDRAM芯片，用无水酒精仔细擦拭印制板芯片及其周边的区域，排除短路或漏电隐患，然后焊接好芯片即可。反复拆卸和重装芯片，容易损坏印制电路板和相应的元器件，所以维修时不要贸然拆卸芯片。 (王德沅)

Q 有两台采用ATJ2091主芯片的杂牌MP3播放器，都出现了音频方面的故障，其中一台为无声，另外一台为左右声道输出不对称，L声道音量轻，R声道无声。检查耳机插座和周边阻容元件都正常，不知是否是由功放级集成电路损坏造成的？ (浙江 陶魏等)

A ATJ2091内含输出功率为20mW×2的音频功放电路，该方案播放器通常不设内置扬声器，没有外部的功放IC，所以不存在功放IC损坏的因素。ATJ2091的9、8脚分别是左、右声道音频输出端，通过耦合电容等元件与耳机插座连接。如果检查9、8脚外围电路和耳机插座正常，那么基本可以判断这种故障是主芯片的音频电路损坏造成的（比较多见），只要调换一块ATJ2091就可排除故障。 (王德沅)

Q 有一部摩托罗拉手机，触摸屏功能时有时无，而且有时会自动触屏。拆开手机检查印制电路板表面，没发现什么异常现象，后来考虑到该故障发生在雨天，怀疑电路板已受潮，就用电吹风吹热风加热去潮，还用无水乙醇擦拭电路板，但是都没用，这是什么原因？怎么维修？ (湖北 钱文刚等)

A 这种故障比较常见，通常是触摸屏与扁平电缆排线的连接不良所致。由于手机使用频繁、经常容易被摔跌或受振、受潮，机内的触摸屏扁平电缆连接可能松动或被污垢、杂物、潮气等侵蚀（可看到电缆连接引脚被氧化、焊点发霉发黑等现象），从而产生接触不良，造成触摸屏功能时好时坏。只要拆卸触摸屏连接扁平电缆，清除接触点的污垢或杂物，再用无水酒精擦拭干净，复装好扁平电缆，就可排除故障。 (王德沅)

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 我们在维修手机、MP3、MP4、数码相机和数码相框等电子产品时，常常发现一些外形类似于贴片二极管或电阻的元件，有的电路中用“E1、E2...”代号来表示这类元件，但似乎不是二极管或电阻，而且维修中发现拿掉它们好像对设备也没什么影响。不知这些是什么元件？如果损坏能不用吗？

(上海　李建新等)

A 这类元件是防静电ESD（静电释放）保护元件。ESD元件通常是和被保护电路并联的，当瞬间静电电压超过电路允许的电压时，ESD元件导通，为瞬间电流提供通路，使内部相应电路免遭击穿烧毁，从而达到保护作用。数码产品中需要进行ESD防护的部位有：USB接口、HDMI接口、IEEE1394接口、天线接口、DVI接口、按键电路、SIM卡、耳机及其他各类数据传输接口等。如果省去ESD元件，电路就失去了防静电屏障，一旦受到静电冲击就会引起元器件损坏。倘若是微处理器、存储器等被烧坏，损失就很大了，所以不能不用ESD。

(王德沅)

Q 电动车充电器中的UC3525AN（KA3525）的主要功能有哪些？影响本电路工作的外围元件主要有哪些？如何判断UC3525AN的好坏？

(山东　刘洋等)

A UC3525AN与KA3525功能、性能基本一样，作为专用PWM调解器，内部还集成了5V的基准电压、稳定性较高的振荡源、死区调节、软驱动及推拉式驱动输出等功能。第5、6脚所接的电阻和电容决定电路振荡频率的高低，第1脚与9脚相连的电阻、电容比较重要，它们决定反馈量的大小。

检修UC3525AN好坏的方法有三种：(1) 电阻法：检测UC3525AN每两脚间电阻值，可用一只好的UC3525AN，测量其每两脚间电阻，记录下来，以此为依据去检测判断。(2) 电压法：在电路中测量各脚电压，与理论值对比，以判断UC3525AN好坏。(3)波形法：用示波器观察11、14脚的方波，看其前沿陡不陡。如前沿陡，开关速度才快，开关管的损耗就小。

（贲礼进）

Q 一台具有时钟显示功能的宝蓝888型袖珍收音机，收音部分由集成电路CXA1191组成，时钟显示正常，但是一开机数字屏立刻变灰暗，时钟消失，扬声器无声。经实测电源静态电流高达500mA左右。检查了滤波电容无短路，再去掉滤波电容并彻底清洗电源部分印制板，故障仍然不变。而且发现，开机几十秒后CXA1191发热烫手。曾经想换集成块，但怕是外围元器件不良而烧坏新集成电路。不知故障究竟在哪里？怎么排除？

(海南　汪炜臻等)

A 静态电流高达500mA，显然电源电路存在短路点。由于滤波电容和印制电路都正常，所以集成电路CXA1191电源引脚短路的可能性很大，而且开机几十秒后CXA1191发热烫手，说明是集成块内部短路所造成。如果还不放心，可临时割开CXA1191的26脚供电端印制电路板铜箔，看电流是否明显下降，若是，就可确认集成电路损坏。除非维修时接错了线，一般外围元器件的问题不会导致烧坏新集成电路。

(王德沅)

Q 一台凯隆12波段集成电路收音机出现声音时断时续的故障，当音量开大时尤其明显。检查发现扬声器纸盆上的一根引线的根部接近断裂，但是因为引线有棉纱交织在内，所以随着纸盆的振动而时断时通。重新焊接后故障被排除，但是过了两天又复发，再焊好，不久又断了。究竟怎么焊接才能使这根引线比较牢靠不易断裂呢？

(江苏　王顺龙等)

A 这种故障是比较常见的，主要原因在于：一是引线太短，导致引线受不起纸盆振动牵拉，工作时间一长就会断裂。二是焊接方法不对，导致引线弹性太差易断。如果引线质量正常（调换时一定要用扬声器专用的编织铜线）、长度合适，那么就是焊接方法不对。焊接时要先把引线穿过纸盆，在纸盆前面将音圈引线绕在纸盆引线上，两引线都必须先清除氧化层和污垢。然后在纸盆穿孔处涂上快干保护漆或胶，待干后焊好引线（不要先焊好，否则焊锡易浸润到引线中去，使靠近焊点的引线失去弹性），再用胶水封固引线焊点即可。

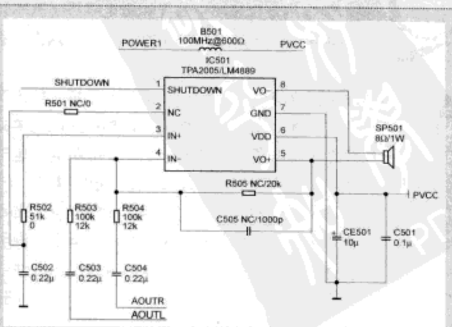
(王德沅)

Q 有一台纽曼M863型MP3播放器，采用CTW500主芯片方案，发生无声故障。经过检查，发现功放集成电路TPA2005损坏，但是本地购不到这种集成块。听说可用容易购到的LM4889直接代换，不知两者的区别何在？真的可以不用修改电路而直接代换吗？

（广东 柳维）

A TPA2005和LM4889都是BTL功放集成电路，两者主要性能相似，前者的输出功率1.4W，后者为1W（电源电压VDD=5V，负载阻抗8Ω），但是内部电路结构有差别，从使用角度来讲，可以互换，不过通常不能直接代换，需要对电路进行适当改动，具体如右图所示。图中，元件标注有两个数据的，前者是适用于TPA2005，后者是指LM4889，NC则表示不需要安装这个元件。

(王德沅)



问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 一台“七喜牌”DM737 彩屏 MP4 播放器，开机就出现“no disk”提示，不能播放音频或视频文件，但是 FM 收音、游戏等功能还是正常的，这是什么原因？怎么解决？

（河南　胡海滨）

A “七喜牌”DM737，存储介质采用容量为 5GB 的 1 英寸微硬盘，是一种“硬盘式”彩屏播放器。这种故障说明控制芯片没有检测到存储器，大都是硬盘接触不良或损坏所致。因为没有存储介质，一些如文件播放、录音等需要读写数据的操作就会无法正常进行，但 FM 收音和游戏等不需硬盘的功能还是可正常运行的。检修时，拆卸播放器，就可看到“希捷”1 英寸微硬盘和连接扁平“排线”（电缆），仔细检查扁平电缆的连接和接触状况，如发现连接不良，如插接松动，触点有氧化污垢等，排除后就能解决问题。如果连接良好，那么很可能就是硬盘损坏，通常需要换新件才行。

（王德沅）

Q 我家的电脑最近发生一种奇特的故障，开机后电脑正常工作时，只要将耳机一插入机箱的插口，电脑就会自动重启，试过多次都是这样，但是，先插好耳机再开机就不会重启了，电脑以前没此现象，也没重新安装过软件和改过设置。不知究竟是什么原因？怎样解决？

（四川　张林森等）

A 造成这种故障主要原因有两种：一是插入耳机时，因电路板或零部件等受外力作用而引起瞬间短路或断路，使电脑复位重启；二是静电干扰因素，插入耳机时无形之中产生了一种干扰脉冲，从而引起电脑重启。无论是哪种原因，通常只要拆卸机箱，仔细清除印制板和插头插座等零部件上面的灰尘和污垢，并且重新将插座和主板等安装好，就能排除故障了。

（王德沅）

Q 一台落地式电风扇使用3年始终正常，最近在接触电风扇时有麻手感，用电笔测电风扇金属外壳时氖灯微微发亮，但是用万用表测量外壳和市电零线间基本无电压，这种现象是电风扇漏电造成的吗？

（河南　葛伟康）

A 人体接触电风扇外表金属部分时不应有麻手感，如果有，说明已经存在漏电故障，应该及时修复，以防发生触电事故。倘若用万用表测量外壳和市电零线间基本无电压，说明漏电是电扇调速器等零部件与外壳间的分布电容引起的，属于感应漏电，一般无触电危险，但是也表明电扇外壳等没有接地或接地不良，需要改正，以消除隐患。如果测量外壳和市电零线间有较大电压，说明漏电严重且外壳没有接地或接地不良，通常是接错电源线、元件或电线接头间的绝缘不良所致，更应及时维修。

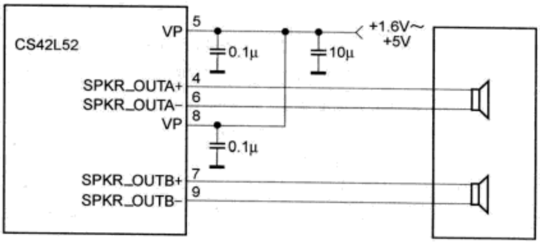
（王德沅）

Q 有一台本色X635HD高清MP4播放器，播放图像良好，耳机的立体声播放也正常，但是外放时两个扬声器中只有一个有声，另一个无声，这是什么原因？怎么解决？

（上海　蔡少华等）

A 本色X635HD是蓝晨科技与韩国本色公司共同研发的产品，采用华芯飞CC1600主芯片“加”CIRRUS音频芯片CS42L52的“双芯”方案。CS42L52是24位低功耗立体声编/解码器，因高集成度和高品质音频性能而闻名。CS42L52最大输出功率为550mW/8Ω/3.7V，其输出信号从4、6脚和7、9脚直接推动两个扬声器发出立体声音乐，见下图。所以检修时主要检查无声通道的相关电路和元件，首先检查扬声器是否损坏，如果正常，再查CS42L52至扬声器间的电路是否断线或存在虚焊等问题，通常很快就能找到故障所在。

（王德沅）

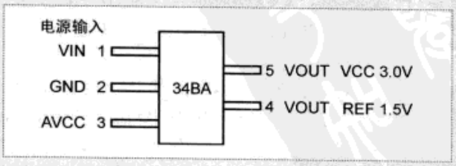


Q 一台采用“炬力”主芯片ATJ2091方案的视频MP3播放器不能开机，经检查发现电源电路无3V电压输出，怀疑电源稳压集成电路34BA损坏，但是不能购到这种型号的集成块，也没有它的引脚功能图，可用其他集成电路代换吗？

（湖南　林金雄等）

A 34BA是贴片式5脚电源稳压集成电路，内部含有两个三端稳压器，输出直流电压分别为3.0V和1.5V，各个引脚的名称和功能如下图所示。该集成电路在ATJ2091等方案的MP3播放器中应用比较广泛，通常可用3402、P015或P016直接代换。

（王德沅）



问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 新购一部佳能5倍光学变焦的数码相机，使用中发现，用了变焦功能调节焦距来回3次，时间不到20分钟，结果就感觉到液晶屏右侧、操作面板那块区域温度很高，烫手。关机后，取出电池，发现电池不热，温度正常。不知是什么零部件发热？这种情况正常吗？

（青岛　于国庆）

A 光学变焦的数码相机大多采用变焦电机通过齿轮驱动镜头而实现变焦。变焦（和拍摄视频）时功耗大、耗电较厉害，所以电池和变焦驱动、电源电路容易发热。但是，如果电池不热而操作面板过热烫手，那是不正常的，一般大都是变焦驱动电路、电源或电机过热所致。引起这种故障的主要原因是镜头变焦电机齿轮不良或安装不妥导致转动不畅，还有就是驱动电路或电机不良，可分别检查处理。数码相机结构精密，如果缺乏维修经验或相机还在保修期，建议送专业维修部修理。（王德沅）

Q 我家的一块自动调温型喷汽电熨斗，购来后不是经常使用。最近拿出来烫衣服，发现电熨斗不能喷出蒸汽来，检查发现，电熨斗水箱上的出水口被污垢堵住了，但用针疏通后仍然不能喷汽，不知原因究竟何在？怎样排除故障？（重庆　许涛等）

A 电熨斗水箱中大多采用滴水式喷汽机构，主要由控制按钮、动作杆、滑动定位钮、复位弹簧、塔簧、出水口塞针和支架等组成。电熨斗不能喷汽，一般都是喷汽控制机构零部件被锈蚀、咬死或损坏引起的。维修时应拆卸水箱，拧下喷汽机构支架的螺丝，拆出喷汽机构，然后再用无水酒精彻底清洗各个零部件。如果污垢和氧化较严重，可先用细砂布轻轻除掉污垢再清洗。清洗时要特别注意塞针和出水口小孔，因为它们都很细小，易积垢和损伤，所以一定要仔细耐心，防止损伤或损坏，清洗完重装后就能排除故障了。

（王德沅）

Q 新购一台“艾诺V3000HD型”MP4播放器，播放视频影片的效果令人满意，但是录音功能不行，无论怎样调节，录音效果都不好，录音后放音非常轻，使用价值不高。这是什么原因？怎么排除故障？（贵州　肖雨生）

A 这种故障主要是该型播放器外壳的话筒进音孔太小所致。该机的话筒进音孔有3个凹槽，只有中间的凹槽被镂空，而且本来就不大的孔还被印制板边缘遮住不少，所以录音时声音不能顺畅传到话筒，从而导致录音音轻。只要用改锥或工具刀镂空另外一个或两个进音孔即可排除这种故障。此外，维修时还要注意话筒的感音面是否对准进音孔，如果不准，也要校正，否则也会影响录音效果。

（王德沅）

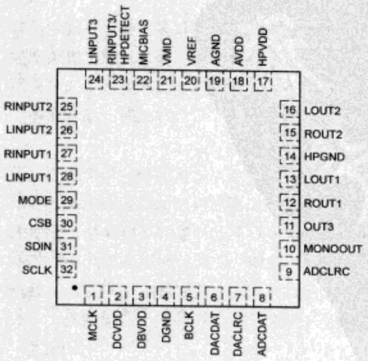
Q 最近新购了一款艾诺V6000HDA型高清MP4播放器，使用效果不错，特别是视频播放功能令人满意。美中不足的是，该机不能接收校园广播频段的节目，而我同学过去购买的老式MP3都能收到校园广播，但是我这款最新的MP4却不支持，这是何故？能否解决？

（广东　刘世强）

A 艾诺V6000HDA是采用华芯飞CC1600方案的新型高清MP4播放器。对学生来说，不能接收校园广播确实是一种缺憾。较早的V6000HDA是没此功能，但是厂商最近开发了新固件，更新为1.2版固件后，就支持校园广播了。升级操作为：先去艾诺官网下载新版固件，随后解压缩，把升级包V6000A.HXF拷贝到播放器中，断开播放器与电脑的连接后，将播放器开机，同时按住“音量－”及“PLAY”键就可看到屏幕上显现升级界面，等待一会儿，升级进度完成后播放器会自动重启，升级完成，在收音地区的选项中就可看到“校园广播”选项，选中即可收听了。（王德沅）

Q 一款台电C280型MP3播放器，以前使用效果不错，其是音质好过一般的同类播放器。最近播放音乐时发现经常出现杂音，而且只是右声道有杂音，左声道没有，检查耳机插头和插座的接触良好，耳机本身也正常，不知何故？同时希望贵刊提供音频芯片WM8750的引脚功能资料。（江西　黎恒等）

A 台电C280播放器采用瑞芯RK2608A主控芯片和英国欧胜WM8750音频芯片的“双芯”方案。由于独立音频芯片的性能优异，故拥有比同类播放器更出色的音质。WM8750是低电源、高品质的立体声编/解码音频集成芯片，输出功率为40mW/16Ω/3.3V，ADC信噪比和DAC信噪比均为95dB，谐波失真为-80dB/16Ω/20mW。它大都采用（QFN-32P）四方扁平封装，各“引脚”功能如下图所示。你所说的故障只是右声道有杂音，而且插头座接触良好，所以主要检查WM8750右声道输出端（ROUT1）至耳机的电路和元件，通常是元件或线路漏电、接触不良所致。如检查无问题，就是芯片内部电路发生故障了。



（王德沅）

Q&A 问与答

Q&A 提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 一台电磁炉中的IGBT管被烧坏，型号是infineon SGW25N120，我处只能购到GT40T301，据说可直接代换，不知两者的区别何在？是否能直接代换？

（福建　吴盟）

A SGW25N120是英飞凌（infineon）公司生产的N型沟道功率IGBT(绝缘栅双极晶体管)，其耐压V_{CES}为1200V，电流 I_C为25A。代换时，在管子类型、耐压、电流等相同或相似的情况下，还要注意管子内部是否含有阻尼二极管。IGBT分含阻尼管和不含的两种，通常两者不宜或不能直接代换。GT40T301内含阻尼管，而SGW25N120内不含阻尼管，用前者代后者时，焊装GT40T301后，可拆除原机连接在SGW25N120管 D、S极间的快恢复二极管。反之，用后者代前者时，则需增加一个快恢复管。　（王德沅）

Q 有一款“蓝魔”RM970型MP4播放器，在拷贝一个电影后显示屏就变红了，连接电脑后也是“红屏”，但还是可看到盘符里的内容。据说刷固件可消除“红屏”，但是我下载了最新的固件放到播放器中，结果故障依旧，问题究竟出在何处呢？　（浙江　乔复强、董 力等）

A 这种故障较常见，通常多数可用重刷固件的方法来解决。刷固件的操作步骤较多，如果忽视某些步骤或固件版本等不符合要求，就会导致刷新失败，许多爱好者之所以刷新不成功，主要原因就在于此。所以在刷固件前要仔细阅读升级教程，然后按照教程的要求逐步操作，这样就很容易成功。RM970播放器的固件升级图文教程和升级工具（RAmos970 SDK升级工具.exe）下载网址为http://www.ramos.com.cn/support.php?support_downid=135。下载后先安装升级程序，然后运行软件，再将RM970与电脑连接，此时软件会显示发现[RM970]设备，然后就可按照教程逐步操作，直至刷新完成。

（王德沅）

Q 一把松下800W高速电吹风使用3年多，最近发现电机转速变慢，启动好像也不太顺畅了。检查发现电机碳刷被严重磨损，想更换新的电刷，但购买不到。不知可否用铜条等其他材料代替?　（山西　杨海峰等）

A 高速电机使用日久，碳刷都会磨损，电机因碳刷与电枢整流子接触不良而使工作异常。通常只要更换新的同规格电刷就能解决问题。如果购不到碳刷，可用废旧干电池中的碳棒代替，效果大多不错。修理时，可用小刀切割碳棒，使其与原来碳刷大小形状差不多，再用砂布仔细磨砂，直到与原来的碳刷基本相同为止，特别注意接触电枢的那端要磨成与整流子吻合的弧形，这样就能正常使用了。　（王德沅）

Q 一款“昂达”VX747型MP4播放器，有时播放中会发生死机现象，怎么也关不了，按住关机键没用，其他按键全部失效，将播放器和电脑用USB线连接起来也没用。是否一定要等电能耗完或拆卸电池才能恢复？这到底是什么原因？如何排除？　（浙江　陈竹）

A 该机采用华芯飞科技公司生产的JZ4740主芯片，发生死机故障的原因大多是机器对有些视频或音频文件不支持或兼容性不佳，少数原因是芯片或电路的问题。通常只要找出造成死机的文件，再把它删除即可避免死机发生。此外，平时要注意播放文件的格式是否符合播放器的性能，不要播放不支持的格式的文件。至于发生死机后的处理，只要按一下复位键就可解决，完全不必拆卸电池或等待电能耗尽。　（王德沅）

Q 一台家用电脑使用多年，最近发现鼠标不太好使，单击左键有时没有反应，有时则单击变双击，右键也时常失灵，但比左键好点。拆卸鼠标，清除按键开关上的积尘和污垢后，故障依旧存在；后来调换了左键的微动开关，情况似乎好点，但是还是经常有失灵现象，不知究竟是什么原因？　（湖南　袁裕利等）

A 这种故障通常是鼠标的按键微动开关接触不良所造成的。鼠标使用日久后，微动开关内部会集聚尘埃污垢，而且触头被磨损、开关簧片也会疲劳变形，这些因素都会导致鼠标接触不良。至于换了一个微动开关还是不能彻底解决问题，应该是微动开关不良或安装位置有偏差所致，如果检查后者正常，那么就是微动开关的问题了。实际上现在质量不佳的微动开关经常可见，购买时一定要注意选信誉好的正牌产品，当然也可从旧鼠标中拆卸利用或自行拆卸开关修理。　（王德沅）

Q 我家的一台长城电脑使用效果一直很好，前几天开机后发现屏幕上的光标只可水平移动，垂直方向不动，无论怎样移动鼠标都是如此，拆开鼠标滚珠底座，仔细清除滚珠和滑杆等处的污垢和积尘，结果故障依旧，再拆卸鼠标，检查元器件、连线和印制板焊点等都没发现异常，是不是鼠标集成电路已经损坏？如何判断？

（上海　李新）

A 这种故障通常与鼠标集成电路无关，主要是光标垂直方向移动检测电路的问题。由于该检测电路采用红外发射和接收光电管组成，工作时发射的是人眼不可见的红外线，所以往往被人忽视这方面的因素。检修时，可检查垂直电路的发射管和接收管两者的位置是否对准，如果没有，只要对准就能排除故障，如果两者的位置正常，那么再查管子和相应印制板是否脱焊或损坏等。　（王德沅）

常用元器件的识别与使用

◎张晓东

无处不在的电容器

电容器简称电容，是最常见的电子元器件之一。在各种电子制作中，除了电阻器用量最大以外，电容器用量一般居第二位。

电容器的基本构造如图1所示：两块相距很近并且中间夹着绝缘介质（固体、气体或液体）的导电极板就构成了一个简单的电容器。当电容器的两极分别带有正、负电荷时，由于异性电荷之间的相互吸引力，它们能储存在电容器中，所以电容器实质上是储存电能的元件。电容器储存电荷的能力越大，它的电容量就越大。电容器具有阻止直流电通过，而允许交流电通过（同时有阻碍作用）的特性，因此常用于振荡电路、调谐电路、滤波电路、旁路电路和耦合电路等。

电容器按其结构可分为固定电容器和可变电容器两大类。按介质分类则有纸介电容器、瓷介电容器、有机薄膜介质电容器、电解电容器、空气电容器等几种。电容器的电性能和应用场合在很大程度上取决于介质的种类。

固定电容器

固定电容器是指容量不能人为改变的电容器，它可分为无极性固定电容器与有极性固定电容器两大类。电子爱好者常说的“电容器”，一般指的就是各种固定电容器。

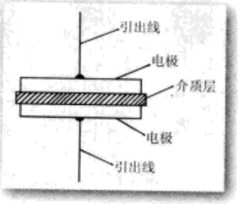


图1 电容器结构示意图

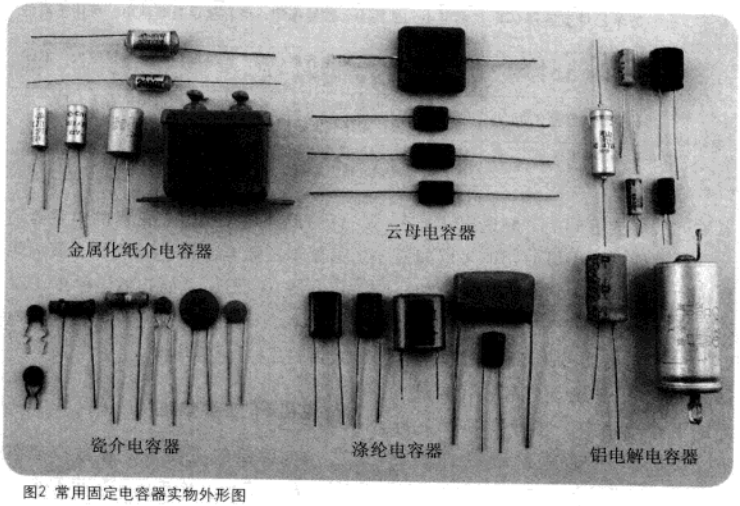


图2 常用固定电容器实物外形图

1. 电容器的种类和特点

固定电容器的产品种类繁多，结构形态各异，图2所示给出了电子爱好者常用的几种固定电容器实物外形图。

金属化纸介电容器在无线电、电子设备中应用很广，其型号中有CJ标志。该电容器实际上是普通纸质电容器的改进型，普通纸质电容器一般是用两条铝箔作为电极，中间以极薄的专用电容器纸隔开重叠卷绕而成，而金属化纸介电容器的电极是用真空蒸发技术直接将金属蒸发附着于电容器纸上，体积仅为普通纸质电容器的1/4左右，主要特点是具有“自恢复”作用，即在击穿后能“自愈”。该电容器一般应用在低频电路中，通常不能在频率大于3～4MHz的高频电路中应用。

云母电容器广泛应用在高频电器中，并被经常用作标准电容器，其型号中有CY标志。云母电容器就结构而言，可分为箔片式和被银式。被银式电极为直接在云母片上用真空蒸发法或烧渗法镀上银层而成，由于消除了空气间隙，温度系数大为下降，电容稳定性也比普通箔片式高。

瓷介电容器是用高介电常数的陶瓷（钛酸钡-氧化钛）挤压成圆管、圆片或圆盘作为介质，并用烧渗法将银镀在陶瓷上作为电极而制成，故又称作陶瓷电容器。瓷介电容器按照工作频率来划分，可分为高频瓷介电容器（CC型）和低频瓷介电容器（CT型）两大类。瓷介电容器用途广泛，从直流、交流电路到脉冲电路和高频电路无所不用。由于它体积小，价格低廉，特别受到电子爱好者的青睐。它的缺点是容量无法做大，且机械强度低，易碎、易裂。为了弥补瓷介电容器容量偏小的不足，在普通瓷介电容

附表　常用固定电容器的品种和主要特点

类型	名称	主要特点
无极性	金属化纸介电容器(CJ型)	体积小，容量大，价格便宜，适合于低频电路和对稳定性要求不高的电路
	云母电容器(CY型)	损耗小，耐高压、高温，性能稳定，但容量小，尤其适用于高频振荡电路
	瓷介电容器(CC或CT型)	体积小，损耗小，耐高温，容量范围较宽，在高频和低频电路均有应用
	涤纶电容器(CL型)	体积小，容量大，但损耗大、稳定性较差，适合于旁路（和电阻并联）等低频电路。
	聚苯乙烯电容器(CB型)	漏电小，损耗小，性能稳定，电容量误差非常小，可用于高低频电路中
	聚丙烯电容器(CBB)	电性能与聚苯乙烯电容器相似，但单位体积电容量较大，能耐+100℃以上高温，温度稳定性稍差
有极性	铝电解电容器(CD型)	电容量大，但漏电流也大，价格便宜，广泛用于直流和脉动电路中作滤波、旁路和低频耦合，也可作为储能电容器
	钽电解电容器(CA型)	体积较小，漏电流小，耐高温，寿命长，可靠性高，但价格较高，可替代铝电解电容器

器生产技术的基础上，制造出了具有一次烧结成型、不可分割的多层陶瓷电容器，这就是人们常说的低频独石电容器。

涤纶电容器也称聚酯薄膜电容器，主要用于对稳定性和损耗要求不高的低频电路中，其型号中有CL标志。涤纶电容器通常是以聚对苯二甲酸乙二醇酯薄膜为介质，采用箔式或金属化电极制造而成。多采用聚酯膜或环氧树脂包封，价格便宜，是电子爱好者经常使用的一种电容器。

铝电解电容器是一种最常见的有极性固定电容器，其型号中有CD标志。该电解电容器用一层铝箔为正极，用化学方法在铝箔上形成氧化膜作为介质，而以硼酸、氨水等配制成电解液为负极，形成电容器。值得注意的是，所有电解电容器在制造时，都要对电极表面进行腐蚀处理，以在上面形成无数极微小的孔，使极片获得很大的表面积，加之介质氧化层又很薄，因而电解电容器的容量可以做得很大，从几微法直到几千微法。由于作为介质的氧化层具有单向导电性，只在电容器正极电压比负极高时才起绝缘作用，所以电解电容器在使用时必须注意引线的极性，如果极性接反了，就会因介质导通而使漏电急剧增加，导致电容器损坏。

此外电子爱好者常用的电容器还有聚苯乙烯电容器（CB型）、聚丙烯电容器（CBB）、钽电解电容器（CA型）等。附表列出了几种常用固定电容器的品种和主要特点。

2. 电容器的主要参数

电容器的主要技术参数有电容量、额定直流工作电压和电容量允许误差等。

电容器的电容量是指它储存电荷能力的大小，这是由电容本身构造所决定的。电容器的极板面积越大、介质越薄、介电常数（由介质种类决定）越大，电容量就越大；反之，电容量就越小。

电容器的额定直流工作电压简称为“耐压”。电容器工作电压超过耐压值，就会击穿里面的绝缘介质，造成不可修复的损坏。电容器的耐压一般都标在它的外壳上。

电容器的误差是指它容量的实际值和标称值之差与标称值的百分比数，通常分3个等级：Ⅰ级为±5%、Ⅱ级为±10%、Ⅲ级为±20%。普通铝电解电容器的误差较大，甚至达-30%~+100%。

3. 电容器的标注方法

目前，大多数国产电容器都按照图3所示，把产品的标称容量、耐压、误差等级等直接标印在外壳上，称为“直接标志法”。有时还可将单位符号省略，其规定是：容量若用小数点表示，则省略的单位应该是微法（μF），若是整数，则单位是皮法（pF）。而对于几到几千微法的大容量电容器，标印单位不允许省略。另外，若容量是零点零几，常把整数位的“0”省去，例如某电容器标称容量为“0.01μF”，常标注为“.01μF”。

对于体积较小的电容器来讲，采用“直接标志法”显然有一定难度。实际上，国内外生产的电容器规格数值标志法还有许多种，其中使用最为普遍的是国际电工委员会推荐的“数字符号法”，其具体规则是：用2~4位数字和一个字母表示电容量。其中数字表示有效数值，字母表示数值的量级，即p表示皮法（10^{-12}F），n表示毫微法（10^{-9}F），μ表示微法（10^{-6}F），m表示毫法(10^{-3}F)。同时，字母还表示小数点的位置。例如1p5表示l.5pF。电容量误差也用字母表示，它们的含意是：F=±1%，G=±2%，J=±5%，K=±10%，L=±15%，M=±20%，N=±30%等。图4给出了几种电容器的数字符号标志法实例，读者通过仔细对比，可尽快掌握规律要领，达到举一反三的效果。

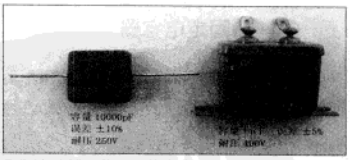


图3 电容器直接标志法举例

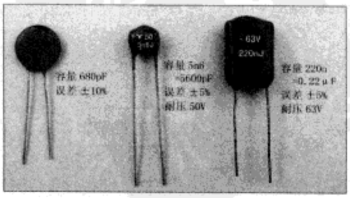


图4 电容器数字符号标志法举例

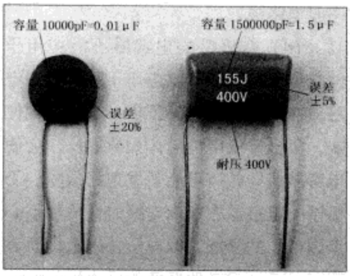


图5 电容器数码标志法举例

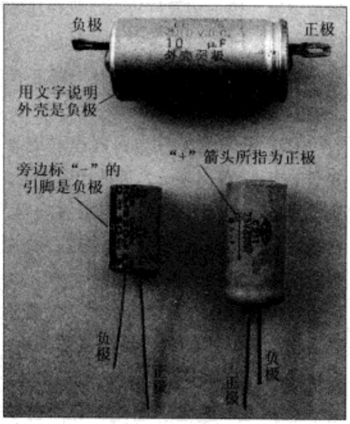


图6 电解电容器的极性标识法

现在还有一种"数码标志法"应用也很普遍，它的规则是：数码一般为三位数，从左算起，第一、二位数为有效数字，第三位数为倍乘位，表示有效数字后面跟的零的个数。数码标志法的容量单位为皮法（pF）。例如，某电容器标有104K字样，它表示电容量为0.1μF，误差±10%。千万不要把它当作是104kΩ的电阻器。图5是数码标志法的两个实例。需要另外说明的是，如果第三位数是"9"，则表示倍乘数为10^{-1}，而不是10^{9}。例如："339"表示33×10^{-1} pF，即3.3 pF。可见，凡第三位数字为"9"的电容器，其容量必在1~9.9 pF之间。

国外一些厂家生产的电容器还时常采用一种"色码标注法"，其方法与电阻器的"色环标注法"类似，由于国内不常见，这里就不作详细介绍了。

电解电容器作为一种有极性的固定电容器，其外壳除了标明容量和耐压等以外，还采用明显的箭头符号或文字说明标识清楚引脚的正、负极性，详见图6所示。

可变电容器

可变电容器也叫可调电容器，它是指容量大小可以调节的电容器。这类型的电容器按使用场合和要求的不同，可划分成容量需要经常改变的可变电容器和容量一经调整好就固定下来不再经常改变的微调电容器两大类：

1. 可变电容器

这类电容器可以在一定的范围内匀滑地改变电容量，多用于收音机的调谐回路中等，其外形如图7所示。可变电容器由多层定片和多层动片构成电容器的极板。定片与支架一起固定，动片与轴柄相联可自由转动，通过改变动片与定片的对应面积，可实现电容量的连续调节。常用可变电容器根据动片与定片之间所用介质的不同，可分为体积较大的空气可变电容器和体积较小的有机薄膜（多元乙烯薄膜）可变电容器两种；如果按动片组数来分，有单连、双连和多连；按各连电容量是否相同来分，有等容和差容两种。在图7中，左边的空气可变电容器为双连差容式，右边的有机薄膜可变电容器为双连等容式。

可变电容器的动片全部旋入定片时容量最大，有270pF、360pF等几种。旋出时最小容量只有几皮法。可变电容器的容量变化范围常用分数法表示，分子表示最小容量，分母表示最大容量。常见的容量规格有：7/270pF、12/360pF等几种。如果是双连等容可变电容器，则容量值用最大容量乘2表示，如2×270pF、2×360pF等。如果是双连差容可变电容器，两连最大容量值用分数表示，如60/127pF、250/290pF等。

2. 微调电容器

微调电容器又叫半可变电容器，顾名思义它是起微量调节作用的，常用于需要将电容量调整得很准确，同时在使用过程中又不再要求改变电容量的一些电路中。对微调电容器最重要的要求是保持既定电容量的可靠性。

微调电容器的种类很多。按介质材料可分为空气微调电容器、瓷介微调电容器、有机薄膜微调电容器和云母微调电容器等，还有单连、双连、多连之分。图8给出了两种最常见的微调电容器的实物外形图。其中，瓷介微调电容器由两块被银瓷片构成，下面一块是定片，上面的是动片。动片可随转轴旋转。因为两块瓷片上被银的面都不到半圆，所以转轴旋转时可以改变容量。有机薄膜微调电容器以聚脂薄膜作介质，用单层或多层磷铜片作定片和动片，体积比瓷介微调电容器要小。

微调电容器的容量变化范围也用分数法表示，其常见的容量规格有：3/10pF、5/20pF、7/25pF等几种。

电容器的使用

在一般电子制作中，由于电源电压远低于常用无极性电容器的耐压值，

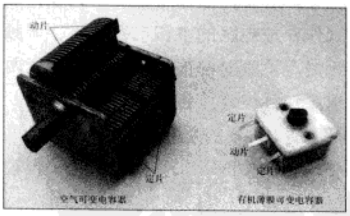


图7 常用可变电容器实物外形图

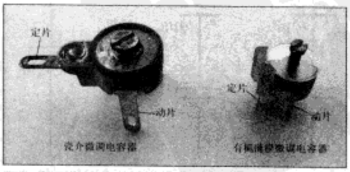
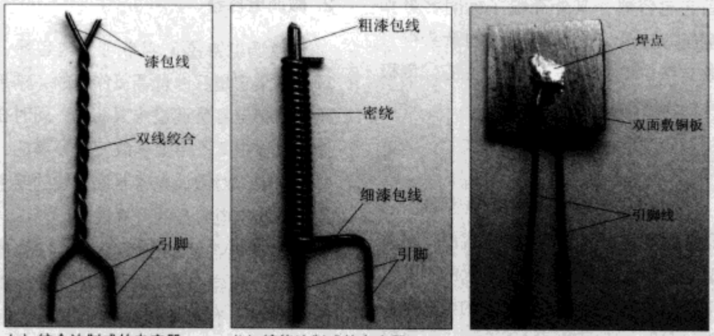


图8 常用微调电容器实物外形图



(a) 绞合法制成的电容器　(b) 缠绕法制成的电容器　(c) 切割法制成的电容器

图9 自制电容器实物外形图

所以电路图中通常不标注所用电容器的耐压值。电解电容器符号旁则注明所需耐压值，如33μF/16V字样等。

1. 自制小电容器的方法

在电子制作中，有时需要几皮法的小电容器。如果手头暂缺合适的小容量电容器，不妨自己动手制作，方法很简单：按照图9（a）所示，将粗细相同的两根漆包线彼此绞合起来，即构成一个小电容器。其任意一端的两个端头可直接作为该电容器的引脚。两漆包线绞合部分越长，缠绕越紧密，电容量越大。当导线长度不超过3cm、漆包线的直径不超过1mm时，其容量一般为几皮法。这种自制的小电容器在制作晶体管超外差式收音机（作中放电路的中和电容器）、调频无线电话筒时都很有用，而且改变两根漆包线彼此绞合的松紧度或长度，可微调电容量的大小。

也可按图9（b）所示，用一根较粗的漆包线做支架，另取一段较细的漆包线缠绕在上面，其形状类似拉线式微调电容器，改变细漆包线的圈数或在粗漆包线上移动细漆包线圈，均可微调电容量。还可按图9（c）所示，切割一小块双面敷铜的胶木板（可用边角料），两边焊上引线，即构成了一个小容量的电容器。胶木板的面积越大、厚度越薄、电容量越大。另外，电容量的大小还与胶木板的材料有关。一般厚度为1.5mm、面积为1mm²的环氧树脂双面敷铜板，其电容量约5pF。

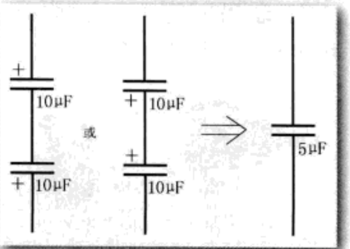


图10 无极性电解电容器的代替法

2. 替代使用方法

电子制作或维修时，电容器的使用和代换应注意以下几点：

（1）保证电容量大致相同。如除振荡、调谐电路外，标称容量相差20%的电容器完全可以互换。这比电阻器的互换有更大的宽容度。

（2）电容器的耐压（额定直流工作电压）必须高于实际电路电压。为了提高电容器工作时的可靠性，延长寿命，除了电解电容器以外，电容器实际工作电压应低于耐压20%。

（3）要注意特定使用条件。例如，纸介电容器不能用于高频电路。容量足够，直流耐压也高的电解电容器，不能代替交流电路（如电动机启动用）中的电容器。当然，高性能电容器可以用于一般电路中。

（4）有极性的电容器不能应用于纯交流电路，但可以应用于脉动直流电路。在接入电路时，正极必须接高电位端，负极接低电位端，如果接反，会使电容器损坏并有可能引发电路故障。无极性的电容器在接入电路时，一般不必考虑电位的高低。但对于外壳上标有黑圈、黑点（或其他颜色的标志）的非电解电容器，该电极最好接电路低电压端（或接地）。可变电容器动片应接地，以减小调整电容时人体感应对电路正常工作的影响。

（5）若采用多只电容器串联或者并联的办法，获得某一数值的电容量时，应注意其计算方法恰好与电阻器的串、并联计算方法相反。两只以上电容器并联后使用，总容量为各电容器之和，而耐压应以最低的一只电容器为准，两只等容量、等耐压的电容器串联后使用，容量减半，但耐压可以提高一倍。

（6）在一些电子制作中有时需要用到容量比较大的无极性电容器，如果手头一时寻找不到这样的电容器，可用有极性的电解电容器反向串联后代用。图10所示为两个相同容量的电解电容器负极对负极或正极对正极反向串联后，就等效为一个无极性的电解电容器，其容量减小为单个电容器的一半。

（7）电容器在接入电路前，应先检查其是否短路、漏电和断路等，并核对其数值后再用。在装配中，放置电容器时，应使电容器的标志易于观察，以便核对。

（8）某些电容器的引脚线与内部电极之间是压接的，因此安装时不要过多的来回拨弄，以免脱接或折断。焊接时动作要快，特别是电解电容器、聚苯乙烯电容器、塑料介质电容器等焊接时更要快，以免介质软化或引起电容量及其他性能的变化。另外，电解电容器是不耐热元器件，安装位置应远离发热体并做到易于散热。

常用元器件的识别与使用（三）

阻交流传直流的电感器

◎张晓东

电感器俗称为电感线圈或简称线圈，也是一种常用的电子元器件。但它在电路中的应用相对于电阻器和电容器来说要少得多。如收音机的磁性天线线圈、简单半导体收音机中的高频扼流圈、超外差式收音机中的振荡线圈等，都是电感器。

电感器是根据电磁感应原理制成的器件。实际上，凡是能够产生自感、互感作用的器件，均可称为电感器。电感器的用途极为广泛，在交流电路中电感器有阻碍交流通过的能力，常在电路中做阻流、变压、交流耦合及负载等；当电感器和电容器配合时，可用作调谐、滤波、选频、分频等。

在电子制作中电感器可分为两大类：一类是应用自感作用的电感线圈，另一类是应用互感作用的变压器。限于篇幅，这里仅介绍头一种类型的电感器。

电感器的识别

1. 电感器的结构和种类

电感器通常由骨架、线圈、屏蔽罩、磁芯等组成。骨架材料的好坏，对于电感器的质量以及工作稳定性等都有一定的影响。而线圈匝数的多少决定着电感量的大小。一般电感量越大，线圈的匝数就越多。屏蔽罩则是为了减小外界电磁场对线圈工作的干扰并防止线圈产生的电磁场对外电路的影响而采取的一项措施。通常是将线圈放入一个闭合的具有良好接地的金属罩内来实现。线圈装有磁芯后会使它的电感量显著增大，或者说与同样电感量的空芯线圈相比，带磁芯的线圈圈数可以减少，体积相应减小。有些电感器（如超外差式收音机中的振荡线圈和中频变压器）为了能在一定范围内调节电感量，常常采用调整磁芯在线圈中的位置的方法来实现。但实际应用中，根据使用场合的不同，有的电感器没有磁芯和屏蔽罩，自制的脱胎线圈则连骨架也不用。

电感器的种类很多，根据不同的结构特点，可分为单层线圈、多层线圈、蜂房线圈、带磁芯线圈及可变电感线圈等。图1所示是几种常用电感器的实物外形图。

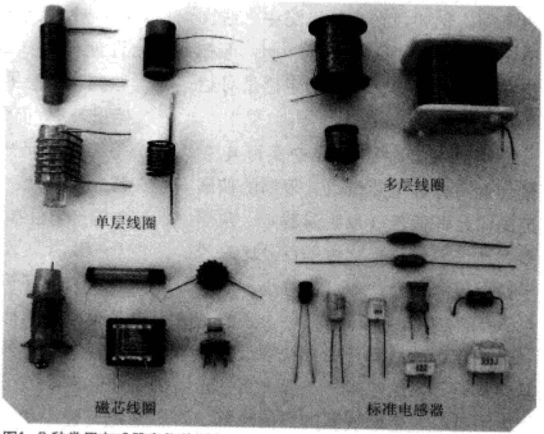


图1 几种常用电感器实物外形图

单层线圈的绕制可采用密绕或间绕。间绕线圈各匝之间保持一定距离，它的稳定性高，电感量很小。密绕线圈所占尺寸小，所以体积也小，但稳定性稍差。

多层线圈在要求电感量较大时（例如大于300μH）采用。由于多层线圈层与层之间电压相差较大，当线圈两端具有较高电压时，容易发生跳火、绝缘击穿等问题，因此大多采用分段绕制。

磁芯线圈体积小，损耗小，品质因数高，多数产品还通过调节磁芯在线圈中的位置来实现电感量在一定范围内的连续可调，主要用于收音机的天线线圈、振荡线圈等。

标准电感器是一种通用性强的系列产品，它按不同电感量的要求，将不同直径的铜线绕在磁芯上，再用塑料壳封装或环氧树脂包封而成。标准电感器的优点是体积小、重量轻、电感量稳定、结构牢固和使用方便。

2. 电感器的特性和参数

电感器和电容器一样，都是储能元件。所不同的是电容器储存的是电荷，而电感器储存的是磁能。当电流通过电感器时，电感线圈的周围就产生了磁场，把电能转换成磁场能量储存在磁场中。电感器有一个重要特性，就是“通过电感的电流不能突变”！也就是说，它具有延缓电流变化的特性，对变化的电流呈现一种特殊的阻力，因而在电路中起着“阻交流，传直流”的作用。电感器的这一特性与电容器的“通交流，阻直流”特性正好相反。

电感器的储能特性用电感量来衡量。电感量的基本单位是亨利，用符号

H表示。较小的单位是毫亨（mH）和微亨（μH），它们之间的换算关系是：

1亨利（H）=1000毫亨（mH）

1毫亨（mH）=1000微亨（μH）

电感量的大小主要取决于线圈的尺寸、线圈匝数及有无磁芯等。线圈的横截面积越大，其电感量也越大；线圈的圈数越多，绕制越集中，电感量越大，线圈内有磁芯的，电感量大，磁芯导磁率越大，电感量越大。电感线圈的用途不同，所需的电感量也不同。例如，在高频电路中，线圈的电感量一般为0.1～100μH；而在电源整流滤波中，线圈的电感量可达1～30H。

电感器在制造过程中实际电感量会偏离标称电感量，其限制的偏离范围叫允许偏差（也叫误差），常用最大允许差值与标称值的百分比来表示。很显然，允许偏差值越小，表示电感器的电感量精度越高。

由于电感线圈是由导线绕成的，总会具有一定的电阻。一般而言，直流电阻越小，电感线圈的性能越好。电感器的一个重要参数是品质因数，用字母*Q*表示，简称*Q*值。*Q*值越大，电感器自身的损耗越小，在用电感器和电容器组成谐振电路时，选择性越好。举例来说，收音机的磁性天线线圈大多采用多股漆包线绕制，就是为提高它的*Q*值，改善收音机的选择性。

另外，线圈的匝与匝间、层与层间以及使用中的线圈与电路金属底板、连接导线、其他元器件之间都存在着等效电容，称之为分布电容。一般情况下，线圈分布电容的数值是很小的，但它的存在会使*Q*值降低、稳定性变差，因此线圈的分布电容应越小越好。

3. 电感器的标志方法

成品电感器的标志方法常见的有直接标志法、数字符号标志法、数码标志法和颜色标志法（简称“色标法”）四种。标志内容主要是电感量和允许偏差，有的还标出型号和额定电流等。

（1）直接标志法。该方法将标称电感量直接用数字和文字符号印在电感器的外壳上，后面用一个英文字母表示其允许偏差（误差），如图2所示。各字母所代表的允许偏差见附表。例如：100μH K表示标称电感量为100μH，允许偏差为±10%；2.5mH J表示标称电感量为2.5mH，允许偏差为±5%；150μH M表示标称电感量为150μH，允许偏差为±20%。需要说明的是，一些国产电感器的允许偏差不采用英文字母表示，而是采用“Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ”3个等级来表示，其中：Ⅰ级为±5%、Ⅱ级为±10%、Ⅲ级为±20%。这与一些国产电阻器、电容器的表示方法是完全一致的。

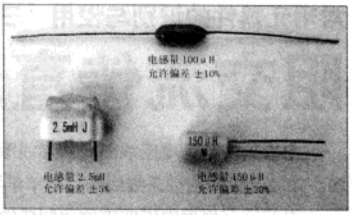


图2 电感器直接标志法举例

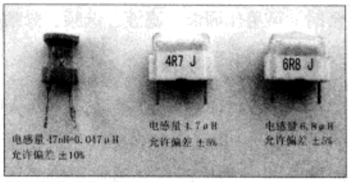


图3 电感器数字符号标志法举例

（2）数字符号标志法。这种方法是将电感器的标称值和允许偏差值用数字和文字符号按一定的规律组合标志在电感体上。采用这种标志方法的通常是一些小功率电感器，其单位通常为nH（1μH=1000nH）或μH，分别用字母“N”或“R”表示。在遇有小数点时，还用该字母代表小数点。例如：在图3所示的实例中，47N表示电感量为47nH=0.047μH，4R7则代表电感量为4.7μH；6R8表示电感量为6.8μH。采用这种标志法的电感器通常还后缀一个英文字母表示允许偏差，各字母代表的允许偏差与直接标志法相同（见附表）。

（3）数码标志法。该方法用3位数字来表示电感器的标称电感量，如图4所示。在3位数字中，从左至右的第1、第2位为有效数字，第3位数字表示有效数字后面所加“0”的个数。数码标示法的电感量单位为μH。电感量单位后面用一个英文字母表示其允许偏差，各字母代表的允许偏差见附表。例如：标示为“151K”的电感量为15×10=150μH，允许偏差为±10%；标示为“333J”的电感量为33×10^3=33000μH=33 mH，允许偏差为±5%。需要注意的是，要将这种标志法与传统的直接标志法区别开来，如标示为“470K”的电感量为47μH，而不是470μH。

（4）颜色标志法。多采用图5（a）所示的四色环表示电感量和允许偏差，其电感量单位为μH。第1、2环表示两位有效数字，第3环表示倍乘数，第4环表示允许偏差。需要注意的是，紧

附表：电感器所标字母代表的允许偏差值

英文字母	允许偏差（%）	英文字母	允许偏差（%）
Y	±0.001	D	±0.5
X	±0.002	F	±1
E	±0.005	G	±2
L	±0.01	J	±5
P	±0.02	K	±10
W	±0.05	M	±20
B	±0.1	N	±30
C	±0.25		

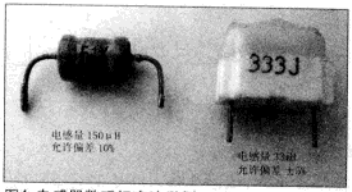


图4 电感器数码标志法举例

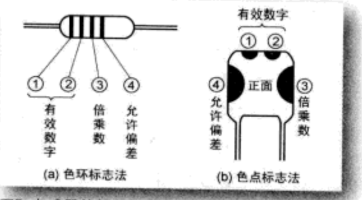


图5 电感器的颜色标志法

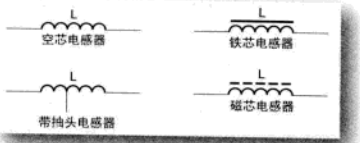


图6 几种电感器的符号

靠电感体一端的色环为第1环，露着电感体本色较多的另一端为末环。这种色环标志法与色环电阻器标志法相似，各色环颜色的含义与色环电阻器相同，这里不再详细介绍。另外，还有在电感器外壳上通过色点标志电感量数值和允许误差的，其规则见图5 (b) 所示。例如：某电感器的色环（色点）颜色顺序是“棕、黑、金、金”，那么它的电感量为1μH，允许偏差为5%。颜色标志法常用于小型固定高频电感线圈，因采用色标法，常把这种电感器叫做色码电感器。这种方法也在电阻器和电容器中采用，区别在于器身的底色：碳膜电阻器底色为米黄色，金属膜电阻器为天蓝色，电容器为粉红色，电感器为草绿色。

国产LG型小型固定电感器用色码表示电感量，并用字母来表示它的额定工作电流：A表示50mA，B表示150mA，C表示300mA，D表示700mA，E表示1600mA (1.6A)。额定电流是指电感器在正常工作时，所允许通过的最大电流。使用中，电感器的实际工作电流必须小于额定电流，否则电感线圈将会严重发热甚至烧毁。

电感器的使用

1. 在电路中的识别

电感器种类很多，不同类型的电感器在电路图中通常采用不同的图形符号来表示。图6是几种电感器的电路符号，它形象地表示了电感器的结构：连续的半圆线就好象是线圈的绕组，两端的直线代表引出线。如果线圈中间画出了直线，表示该线圈带有抽头。如果在连续的半圆线上方画出较粗的平行直线，表示该线圈是绕在铁芯上的。如果较粗的平行直线是断续的，则表示该线圈是绕在磁芯上。另外，如果在图中各电感器符号上画出带有箭头的斜线，则表示是一个电感量可调的电感器。

电感器的文字符号是L。一般在电路图的符号旁注明电感量数值和单位。若电路图中有多只同类元器件时，就在文字符号后面标上自然数，以示区别，如L1、L2……

通常情况下，如果一个电感器在电路符号中或文字叙述中若没有其他特别的说明，则可认为选择该电感器时对型号、种类以及工作电流大小等均无特别要求。

2. 检测与修复

电感器使用时应先进行外观检查，看是否破裂，线圈有无松动、变位等。由于电感器多数是用较细的漆包线绕制成的，所以很容易出现断线、短路和接触不良的故障。

电感器的好坏可以用普通万用表进行检测：将万用表置于“R×1”挡，两表笔不分正、负极性与电感器的两引脚相接。正常情况下由于电感器的自身电阻很小，所以万用表的表针指示应接近为“0Ω”，即使电感量较大的电感器，电阻一般也在几欧姆到十几欧姆间。如果测得的阻值为无穷大（表针不动），说明电感器内部有断路。如果测得的阻值为零或比正常阻值小许多，说明电感器内部存在短路。如果表针指示不稳定，说明电感器内部接触不良。对于具有金属外壳（屏蔽罩）的电感器，若检测出线圈引脚与外壳之间的阻值不是无穷大，而是有一定电阻值或为零，则说明该电感器存在问题。

普通的万用表不具备专门测试电感量的挡位，如果需要测量电感器的电感量，应采用具有电感测量挡的数字万用表才行。但在一般的电子制作中，我们可不直接检测电感量，而是在电路中根据电感器的使用效果，来确定所选电感量是否合适。

采用具有电感器测量挡的数字式万用表（如VC9808+、VC9805A+、VC6243、MS8269型等），可以很方便的测出电感器的电感量大小来。具体操作方法是：将数字式万用表的量程开关拨至合适的电感挡，然后将电感器的两个引脚与红、黑表笔相接，即可从显示屏上读出该电感器的电感量。需要注意的是，这里数字式万用表的量程选择很重要，应尽可能选择接近标称电感量的量程去测量，否则，测试结果将会与实际值有较大的误差。对于标称值确定的电感器，如果显示的电感量与标称电感量相近，则说明被测电感器正常。若显示的电感量与标称值相差很多，则说明该电感器有问题。

电感器的一般故障可以自行修理排除：对于线圈内部或引出端已断路的电感器，可将断头焊接通即可；对于线圈局部短路的电感器，可进行重绕或在短路处填以适当的绝缘材料。当发现线圈匝松动时，如果情况较轻，可用绝缘胶水加固，若松动较严重，则可部分或全部重绕。当线圈损

坏无法修复时，应弃旧换新。

3. 自制电感器的方法

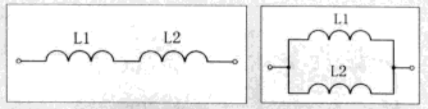
对于电感量在几个毫亨（mH）以内的小型电感器，可以按照图7（a）所示自己动手制作。具体方法：取一只阻值100 kΩ以上、体积合适的电阻器作为骨架，用漆包线按要求圈数绕在该电阻器上。线圈绕好后，将两线头分别焊牢在电阻器两端的引线上，利用电阻器的两端引线作为自制电感器的引线。为了防止线圈松动，可涂上一层绝缘漆。这种自制电感器的电感量大小与线圈的直径、圈数、绕法（指单层还是多层、密绕还是间绕等）有关。线圈直径越大、圈数越多（电感量与圈数的平方成正比），电感量越大。例如，读者在制作来复再生式晶体管收音机时，需要用到一个2.5mH左右的高频扼流圈，这可用ϕ0.06～0.08mm的漆包线在一只1/4W碳膜电阻器上乱绕500匝左右自制而成。

有时在高频回路、功率放大器等电路中，需要用到一些电感量更小的电感器，有的还要求通过较大的工作电流。采用图7（b）所示的自制空芯线圈可完全满足需求。这种空芯线圈自制方法更为简单：可用一适当粗细的圆棒作为绕制骨架，用较粗的漆包线在骨架上密绕至规定的圈数，再抽去骨架，空芯线圈便脱胎而成。如果要求为间绕，则将绕好的空芯线圈适当拉长即可。对于已绕制好的空芯线圈，可以通过改变其匝间距离的办法来微调电感量。当拉长线圈长度时，其匝距增大，电感量减小。当压缩线圈长度时，其匝距减小，电感量增大。在高频谐振回路中，常用这种方法来微调谐振频率。例如，电子爱好者在制作“调频无线话筒”时，通常就采用这种自制的空芯电感线圈。

4. 使用常识

（1）在电子制作中，如果手头一时没有所需电感量的电感器，那么可以用串联或并联的方法“凑”出代用的电感器来。按照图8（a）所示，用两个电感量小的电感器串联，可以得到大电感量的电感器，串联后总电感量等于各电感器电感量之和，即$L_{总}=L1+L2$。按照图8（b）所示，用两个电感量较大的电感器并联，可得到较小电感量的电感器，并联的总电感量$L_{总}=L1\times L2/(L1+L2)$，当这两个电感器电感量相等时，并联后的总电感量减半。可见，电感器串、并联后总电感量的计算，跟电阻器串、并联后电阻值的计算方法相同。但特别强调的是，图8中总电感量的计算只有在两只电感器的磁场相互隔离而不发生耦合（如其中一个采用金属屏蔽罩、相互垂直且尽可能拉大相互间安装距离等）的情况下才成立。如果两个电感器的线圈间有互感存在，则串、并联后，其等效电感就必须另外计算。例如两个线圈串联，它们各自的电感量为$L1$和$L2$，而互感量为M，则其总的有效电感量为$L1+L2+2M$。

（2）电感器的线圈不可受潮或受热，否则其形状、尺寸都要发生变化，



（a）串联　（b）并联

图8 电感器的替代法

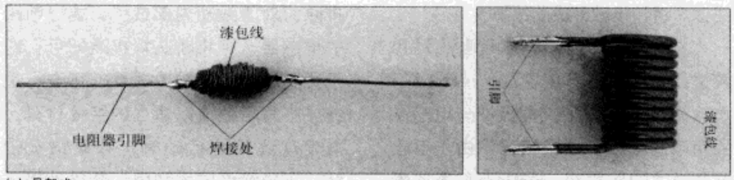
从而会使电感量变值，也会使品质因数下降。对Q值偏低的线圈，可采取烘干、浸蜡、重绕（注意减小分布电容）、换用较粗的漆包线等方法解决。

（3）线圈在受潮发霉或其接线头经常被折弯的情况下，极容易被折断，使用时必须注意。另外，多股线圈如若断股，则线圈Q值将有所下降。

（4）使用中的线圈不要随意改变其原来的几何形状、尺寸大小、线间距离，也不能随意改变磁芯的位置，否则会改变它的电感量，特别是频率高、圈数少的线圈。例如，电视机的高频头中的线圈和调频接收机的天线线圈，一般都用高频蜡封固，磁芯位置调整完毕后也要用高频蜡封固。

（5）对于普通无屏蔽罩的电感器，在装配过程中应特别注意与其他元器件的相对位置，以免互相产生耦合而导致整机性能的降低。另外，有些电路对电感器的线圈出线头焊接顺序有一定要求，如果焊接不对的话，会使电路性能下降。若电路对线圈出线头的焊接顺序没有特殊指明，可先按某一顺序焊上，根据效果再进行调整。

（6）在设计电路布局时，电感器应尽量远离产生较强磁场的元器件，例如变压器、扬声器等。两个彼此无关的电感器应尽量远离，并应使两者相互垂直，以减弱它们之间的寄生耦合，必要时也可采取屏蔽措施。在低频电路中，可使用软铁皮等铁磁材料做屏蔽盒。铁磁材料的导磁率越高、厚度越厚，屏蔽效果越好。在高频电路中，要用铜、铝等电阻率小的良导体材料做屏蔽盒，不需很厚，只要有一定的机械强度即可。可调线圈应考虑放在易于拆装和易于调整的部位。



（a）骨架式　（b）空芯式

图7 自制电感器实物外形图

常用元器件的识别与使用（四）

形态各异的变压器

◎张晓东

变压器是利用电感线圈互感原理制成的一种用途广泛的元器件。变压器在电路中具有很重要的功能，它可以对交流电（或信号）进行电压变换、电流变换、阻抗变换或相位变换，并起传递信号、隔断直流等作用。

变压器种类繁多，大小形状千差万别，在电力、电工和电子领域都有广泛的应用。这里，我们仅向读者介绍电子制作中经常用到的各种小型变压器。

变压器的识别

1. 变压器的种类

电子制作中使用的变压器种类很多，按工作频率可分为高频变压器、中频变压器和低频变压器，如图 1 所示。按铁芯（磁芯）形状可分为“E”形变压器（或“日”形变压器）、“C”形变压器和环形变压器等。高频变压器常见的有电视机中的天线阻抗变换器、收音机中的天线线圈等。中频变压器在收音机、电视机中都有应用。低频变压器主要有音响放大电路中使用的音频输入和输出变压器，各种电子装置中普遍使用的电源变压器等。

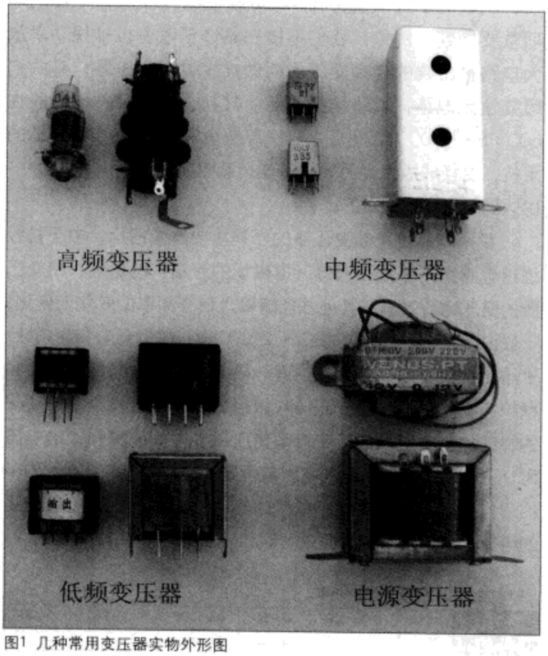


图1 几种常用变压器实物外形图

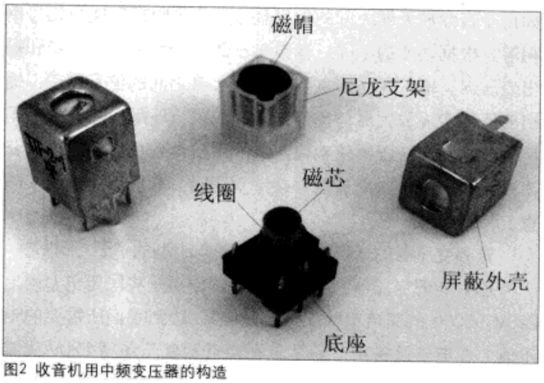


图2 收音机用中频变压器的构造

（1）高频变压器。根据用途的不同，高频变压器可分为天线线圈，高放线圈和高频振荡线圈等三种。天线线圈主要用于各种无线电发射或接收机，其作用是将无线电发射信号有效耦合给天线，或者将天线传来的无线电信号耦合给接收机的高频或变频放大电路等。高放线圈是将已经过高频放大的信号耦合给后级调谐回路等。高频振荡线圈常用于各种无线电发射或接收机的高频振荡电路。超外差式收音机中使用的磁性天线，以及本机振荡部分使用的振荡线圈等，都属于高频变压器。

高频变压器一般采用高频磁芯或直接在绝缘筒体上绕制线圈制作而成。

（2）中频变压器。中频变压器过去称中周变压器（简称“中周”），它是用于超外差通信电路中的一种特殊变压器。制作超外差收音机、电视机、对讲机等时，都会用到这类变压器。中频变压器的主要功能是与电容器配合组成调谐选频回路，良好地传递某一个选定频率的信号，同时实现前后级放大器之间的阻抗匹配。中频变压器的工作频率比较高，一般都在几百千赫兹到几十兆赫兹，并且它工作于固定频率，如一般超外差收音机为 465 kHz。

收音机中常用中频变压器的构造如图 2 所示。最外部是金属屏蔽罩，避免周围其他高频信号的干扰。中心是几组线圈，

共同绕制在高频磁芯上。线圈外面有一个可以上下调节的磁帽，可在小范围内改变线圈的电感量和线圈之间的互感量。

注意中频变压器的“中频”两字，并不是指频率介于高频与低频之间，而是中间过渡频率的意思。这样我们就能理解为什么电视机的中频信号要比收音机的高频信号还要高得多。

(3) 音频变压器。音频变压器主要用于处理音频信号，如用于音频放大器之间的信号耦合、变换阻抗及实现信号倒相等。根据功能的不同，音频变压器常分为输入变压器和输出变压器。输入变压器主要实现放大器之间的信号传递，输出变压器实现放大器与扬声器之间的阻抗匹配。它们的共同目的是，利用变压器使电路两端的阻抗得到良好匹配，以获得最大限度的传送交流信号功率；同时，它们都还起着“隔直流”的作用。

音频变压器的体积较小，一般使用小型的“E”形铁芯。

(4) 电源变压器。电源变压器的作用是将民用电力网上220V、50Hz的交流电降压（或升压），达到我们所需要的电压值。在电子设备中，通常是利用电源变压器将220V交流电变换成所需的低压交流电（1.5～36V），再送到整流、滤波、稳压电路变换成直流电压，作为电路的供电电源。

电源变压器的功率一般都在几十瓦以上，所以使用的铁芯较大，其体积也较大。电源变压器的铁芯一般是“E”形，在要求较高的场合采用“C”形铁芯。

2. 变压器的主要参数

由于不同用途的变压器具有不同的特性，所以反映其特性的参数也不完全一样。常用变压器的主要参数及其含义如下：

(1) 电源变压器。电源变压器的主要参数是额定功率（有时也称容量）、额定电压、额定电流和效率等。

额定功率是指变压器在规定的频率和电压下长期工作，而不超过规定温升时次级所能输出的最大功率。变压器的额定功率与铁芯截面积的平方成正比，如图3所示，铁芯截面积越大，变压器功率越大。额定功率一般用文字直接标注在变压器上。

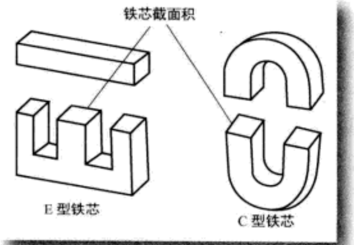


图3 变压器铁芯的截面示意图

额定电压包括初级线圈输入电压和次级线圈输出电压。电源变压器的初级电压一般为220V，也有交流380V的。次级电压有各种规格。有多个次级绕组的电源变压器，可以有多种次级电压，使用时应根据需要选用具有符合要求的次级电压的变压器。

额定电流一般是指次级绕组所能提供的最大输出电流。选用变压器时其次级电流必须大于电路实际电流需要值。次级电压和电流一般均直接标注在变压器次级输出端。

效率用来表示变压器在工作时对电能的损耗程度。变压器在工作时不可避免地存在着各种形式的损耗，如铜损（当电流通过构成线圈的铜漆包线时，部分电能在线圈电阻的作用下转变成为热能而损耗掉了）和铁损（包括变压器铁芯的磁滞损耗和涡流损耗，两者均会使铁芯发热）等。效率用%表示，它的定义是：效率（η）=（输出功率 ÷ 输入功率）×100%。显然，损耗越小，变压器的效率越高，变压器的质量也越好。变压器的效率还与它的功率等级有密切关系，通常功率越大，损耗就越小，效率也就越高，反之，功率越小，效率也就越低。常用普通小功率变压器的效率见表1所示。

电源变压器的参数还有电压比、工作频率、空载电流、空载损耗、绝缘电阻和防潮性能等，选购成品变压器时一般可不必考虑。

(2) 音频变压器。音频变压器的主要参数是阻抗比、频率响应和额定功率等。

阻抗比是指音频变压器初级与次级之间的阻抗比值。音频变压器在电路中的一个主要作用就是完成阻抗变换，使电路实现阻抗匹配。阻抗比能够直观地反映出音频变压器初、次级的阻抗变换情况，它是衡量音频变压器性能的一项重要参数。例如，我们把接在晶体管收音机推挽功率放大电路输出端的音频变压器叫做推挽输出变压器，它的初级接放大电路，次级接扬声器，其初、次级阻抗比一般在600：8～120：8之间，主要作用是把常用8Ω扬声器较低的阻抗，变换成放大器需要的最佳负载阻抗（600～120Ω），以达到阻抗匹配的目的。

频率响应是音频变压器的一项重要质量指标。由于初级绕组电感量不够大和漏感（指磁场的泄漏）的影响，使变压器的变压比、效率及其他性能随输入信号频率的变化而变化。一般说来，在音频范围（20～20000Hz）的低频端和高频端，变压比都要下降，只有在中间一段频率范围内维持定值。频率响应就是描述音频变压器次级输出电压随工作频率而变化的特性的。一般规定，若音频变压器在中间频率的输出电压为u，则输出电压（输入电压值恒定）不小于$u/\sqrt{2} \approx 0.707u$的工作频率范围，叫做它的频带宽度。通常变压器初级绕组的电感量（主要影响低频端）越大，漏感（主要影响高频端）

表1 常用小功率变压器的效率

功率(W)	<10	10～30	30～50	50～100	100～200	>200
效率(%)	60～70	70～80	80～85	85～90	90～95	>95

表2 通用变压器型号各部分符号含义

第一部分：主称		第二部分：功率		第三部分：序号	
符号	含义	符号	含义	符号	含义
DB CB RB GB HB SB或ZB SB或EB	电源变压器 音频输出变压器 音频输入变压器 高频变压器 灯丝变压器 音频(定阻式)输送变压器 音频(定压式)输送变压器	1 2 ……	计量单位用VA或W标志，但RB型除外	1 2 ……	表示产品序号

越少，则它的频带越宽，性能也就越好。在高保真音响中，音频变压器的频率响应是一项很重要的指标。

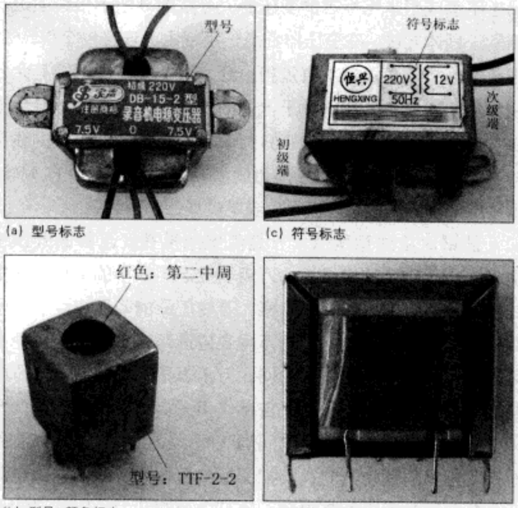
额定功率是指音频变压器正常工作时所能承受的最大功率。一般在晶体管收音机中可不必考虑，在电子管扩音机（胆机）和有线广播系统中，则必须注意音频变压器的额定功率。

音频变压器的参数还有非线性失真、磁屏蔽和静电屏蔽、效率等，目前市售各种类型的音频变压器的这些性能参数均能满足一般业余制作时的要求，可直接选购使用。

(3) 高、中频变压器。高频变压器和中频变压器的主要参数有阻抗比、谐振频率（配以指定电容器）、通频带、Q值和电压传输系数等，这些参数初学者在一般制作时可不必考虑，只要选购型号符合要求的成品变压器即可。

3. 变压器的标注方法

变压器参数的标志方法通常采用型号法或直标法，由于各种用途变压器标注的具体内容不尽相同，所以没有统一的格式，下面仅举几例加以说明：



(a) 型号标志　(c) 符号标志　(b) 型号+颜色标志　(d) 阻抗标志

图4 常见变压器的标志方法

表3 中频变压器（及相关振荡线圈）各部分含义

第一部分：主称(名称、用途)		第二部分：尺寸/mm		第三部分：级数	
符号	含义	符号	含义	符号	含义
T L T F S	中频变压器 振荡线圈或线圈 磁性瓷芯式 调幅收音机用 短波收音机用	1 2 3 4	7×7×12 10×10×14 12×12×16 20×25×36	1 2 3	第一级 第二级 第三级

(1) 型号法适用于一般普通变压器，其型号命名由“主称（字母）- 功率（数字）- 序号（数字）”三部分组成，各部分含义见表 2 所示。例如，图 4 (a) 中，某电源变压器上标注出“DB-15-2 型”字样，DB 表示是电源变压器，15 表示额定功率为 50VA，2 表示产品的序号。

(2) 中频变压器（及相关的振荡线圈）的型号单独有命名的方法，由“主称（字母）- 尺寸（数字）- 级数（数字）”三部分组成，各部分含义如表 3 所示。例如，在图 4 (b) 中，某中频变压器上标注出 TTF-2-2。TTF 表示是调幅收音机用的磁性瓷芯式中频变压器，前一个 2 表示该中频变压器的外形尺寸是 10mm×10mm×14mm，后面的 2 表示第二中频变压器。另外，还在磁帽上涂颜色表示产品的结构和用途。常用的 TTF 型单调谐中频变压器，用白色表示第一级（第一中频变压器），用红色表示第二级，用绿色表示第三级，而不涂颜色（黑色）则表示为相配套的振荡线圈。

(3) 有的电源变压器如图 4 (c) 所示，在外壳上标出变压器的电路符号（各线圈的结构），然后在各线圈符号旁边标出电压数值，说明各线圈的输入或输出电压。

(4) 用于阻抗变换的音频变压器，往往还将初、次级线圈的阻抗直接标在相应的线圈接线端。例如，在图 4 (d) 中，某音频输出变压器次级线圈引脚处标出 8Ω，说明这一变压器的次级线圈负载阻抗应为 8Ω，即只能接阻抗为 8Ω 的扬声器或其他负载。

变压器的使用

1. 检测方法

检测变压器时，可先通过“察言观色”来检查其外表是否有明显的异常，如线圈引线是否断裂、脱焊，绝缘材料是否有烧焦痕迹等。对于电源变压器还要看其铁芯紧固螺丝是否有松动，硅钢片有无锈蚀，绕组线圈是否有外露等。

(1) 检测绕组线圈：将万用表置于“R×1”或“R×10”挡，按照图 5 所示检测各绕组线圈，应有一定的电阻值。如果表针不动，说明该绕组内部有断路点，如果阻值为 0，说明该绕组内部有短路点。电源变压器发生短路故障后的主要现象是发热严重和次级绕组输出电压失常。通常，线圈内部匝间短路点越多，短路电流就越大，而变压器发热就越严重。当短路严重时，变压器在空载加电几十秒钟之内便会迅速发热，

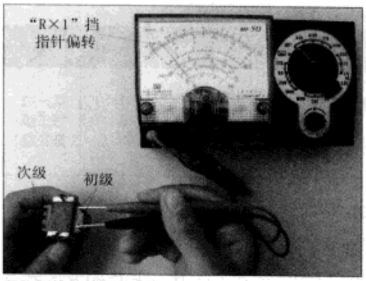
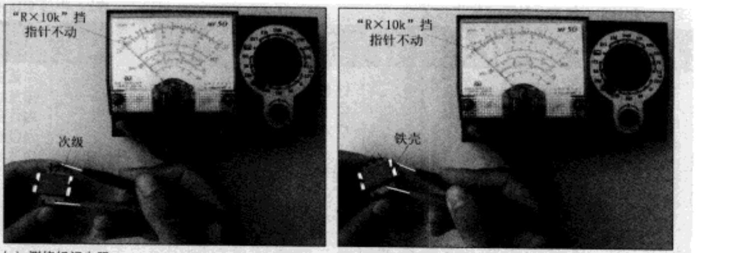


图5 测绕组线圈的电阻



(a) 测绕组间电阻
(b) 测绕组与铁芯间电阻
图6 检测绝缘性能

断电后用手触摸铁芯会有烫手的感觉，此时不用测量空载电流便可断定该变压器有短路点存在。

(2) 检测绝缘性能：按图6所示，将万用表置于"R×10k"或"R×1k"挡，测量每两个绕组线圈之间的绝缘电阻，以及各绕组与铁芯外壳和静电屏蔽层之间的电阻，均应为无穷大。否则，说明该变压器绝缘性能太差或内部已经发生短路故障，不能使用。

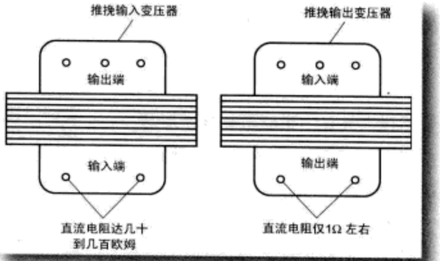


图8 音频推挽变压器的引出端规律

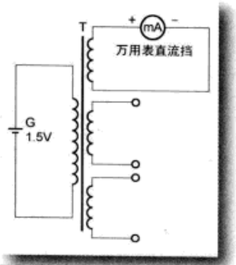
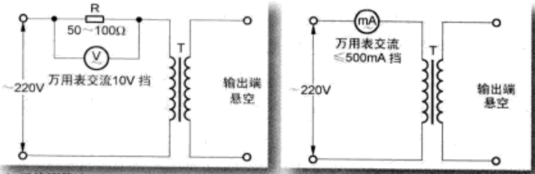


图9 判别各绕组同名端的接线图

(3) 检测初级空载电流：按图7 (a) 所示，将电源变压器所有次级引线悬空，初级串接一只1W、50～100Ω的电阻器R，然后接入220V交流电源，用万用表"交流10V"挡测量R两端的电压降U_R，并根据$I_O = U_R \div R$计算出初级空载电流。对于有交流电流测试挡的万用表，可按照图7 (b) 所示，将量程选择在"交流500mA"以内，并将万用表串入变压器初级绕组中，直接从刻度盘上读出空载电流值。普通电源变压器的初级空载电流一般应在20mA以下，过大则说明变压器质量差或内部存在短路故障。

(4) 估算额定功率：电子制作时，经常会遇到一些只标出输入、输出电压，而未标明额定功率(W)的电源变压器，给正确使用带来困难。这时不妨通过测量变压器的铁芯尺寸，来计算出它的额定功率大小。具体方法：首先测量出变压器铁芯的截面积（单位为cm^2）。测量时可参照图3所示，分别测出铁芯的宽度和厚度，两值相乘，即得到变压器铁芯的截面积S。然后，将S代入公式：$P=S^2 \div 1.56$，即得到变压器的额定功率P (W)。例如：一只电源变压器，测出铁芯中柱的截面积为$2.4cm \times 1.5cm = 3.6cm^2$，其额定功率应为：



(a) 间接测算法
(b) 直接读数法
图7 测量初级空载电流的接线图

$P = (3.6)^2 \times 1.56 = 8.3W$。取产品标称值，可认为该变压器的额定功率为8W。

(5) 区分音频输入、输出变压器：常见推挽功率放大器所用输入、输出变压器外形一样，均为5个引出端，如图8所示。如果标志不清，可用万用表"R×1"挡测量音频变压器有两个引出端的绕组。

(6) 判别各绕组的同名端：对于需要分清楚同名端，而标志不清或根本无标志的变压器，可按图9所示接线图进行判别。具体方法：在变压器任意一组绕组上连接一个1.5V的干电池，将万用表拨至直流挡，红、黑两表笔分别接其余各绕组线圈的抽头。在接通干电池的瞬间，万用表的指针会很快摆动一下，如果指针向正方向偏转，则接电池正极的线头与万用表红表笔相接的线头为同名端；如果指针反向偏转，则接电池正极的线头与接黑色表笔的线头为同名端。

测试时应注意两点：一是若电池接在变压器的升压绕组（既匝数较多的绕组），万用表应选用最小的量程，使指针摆动幅度较大，以利于观察；若变压器的降压绕组（即匝数较少的绕组）接电池，则万用表应选用较大量程，以免损坏表头。二是接通电源的瞬间，万用表指针会向某一个方向偏转，但断开电源时，由于自感作用，指针将向相反方向倒转。如果接通和断开电源的间隔时间太短，很有可能只看到断开时指针的偏转方向，而把测量结果搞错。所以接通电源后要等几秒钟后再断开电源，也可以多测几次，以保证测量结果的准确性。

常用元器件的识别与使用（五）

用途广泛的晶体二极管

◎张晓东

晶体二极管简称二极管，它和晶体三极管一样都是由半导体材料制成的。所谓半导体，是指导电性能介于导体和绝缘体之间的一类物质，常用的半导体材料有硅和锗。我们常听说的美国硅谷，就是因为起先那里有很多家半导体厂商。

半导体材料有两个显著特性：一是导电能力的大小受杂质含量多少影响极大，如硅中只要掺入百万分之一的硼，导电能力就可以提高50万倍以上；二是导电能力受外界条件的影响很大，如温度、光照的变化，都会使它的电阻率明显改变。利用这些特性，可以制造出用途广泛、各具特点、功能不一的半导体器件。

由于绝大多数半导体是晶体，所以往往把半导体材料称为晶体，晶体二极管、晶体三极管的名称就是这样得来的。晶体二极管种类很多，常用的有普通二极管（用于整流、检波、开关等）和具有特殊性能的二极管（如发光二极管、稳压二极管、光敏二极管等）。本篇首先向大家介绍用途非常广泛的普通二极管。

普通二极管的识别

在半导体器件的大家族中，二极管是诞生最早的成员。在现代电子技术领域中，它仍然扮演着十分重要的角色。初学者正确掌握二极管的识别和使用，对于顺利完成各种电子制作和维修显得至关重要。

1. 基本构造和特点

半导体材料按导电类型不同，分成P型半导体和N型半导体两类。如果把一小块半导体材料一边做成P型，另一边做成N型，在它们的交界处就形成了PN结，如图1所示。简单地说，把一个带有引线的PN结封装在玻璃管、塑料体或金属的外壳里，就构成了二极管。

晶体二极管有两根电极引线，一根是正极（接内部P型半导体材料），另一根是负极（接内部N型半导体材料）。单向导电性是二极管的基本特性。我们把电池G、小灯泡H、二极管串联起来，连成图2所示的电路。在（a）图中，电池正极接在二极管正

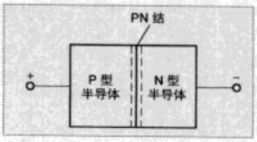


图1 半导体PN结

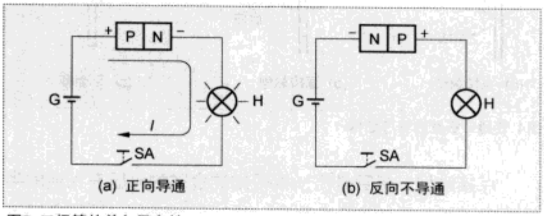


图2 二极管的单向导电性

极上，电池负极通过小灯泡接在二极管的负极上。这时二极管加的是正向电压，小灯泡发光。在（b）图中，二极管正、负极引线倒换过来，二极管加的是反向电压，小灯泡就不能发光。二极管加上正向电压时电阻很小，能良好导通，加上反向电压时电阻很大，接近开路截止，这就是它的单向导电性。这个特性也可以理解为：在电路中，二极管只准电流从其正极流向负极，不准反向流通。

晶体二极管在收音机中对无线电波进行检波，在电源变换电路中把交流电变换成为脉动直流电，在数字电路中充当无触点开关等，都是利用了它的单向导电特性。

2. 外形及种类

图3所示是几种常见的普通二极管的实物外形图。

普通二极管按照所用的半导体材料不同，可分为锗二极管和硅二极管；按管芯结构不同，可分为图4所示的点接触型二极管、面接触型二极管和平面型二极管，根据管子用途不同，又可分为整流二极管、检波二极管、开关二极管等。

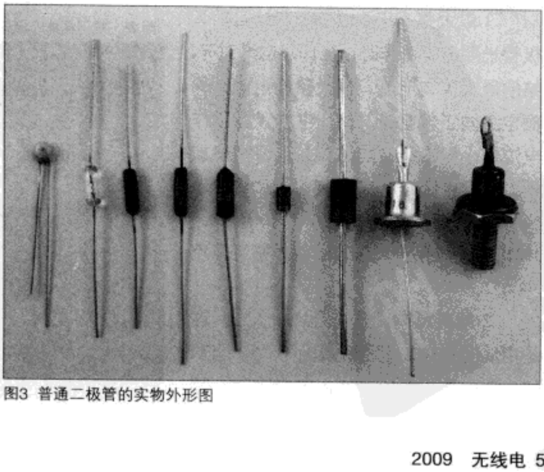


图3 普通二极管的实物外形图

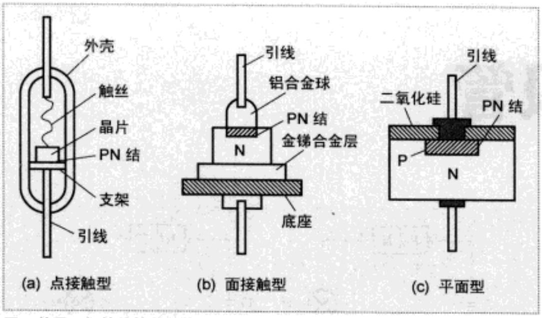


图4 普通二极管的管芯结构

点接触型二极管是用一根很细的金属触丝压在光洁的半导体表面上，通以强脉冲电流，使触丝一端和半导体牢固地烧结在一起，构成PN结，如图4（a）所示。点接触型二极管因触丝与半导体接触面很小，只允许通过较小的电流（几十毫安以下），但在高频下工作性能很好，适用于收音机中对高频信号的检波和微弱交流电的整流。国产锗二极管2AP系列、2AK系列，都是点接触型的。

面接触型二极管的PN结面积较大，并做成平面状，如图4（b）所示。它可以通过较大的电流，适用于对电网的交流电进行整流。国产大部分2CP系列和2CZ系列的二极管都是面接触型的。

硅平面型二极管的特点是在PN结表面覆盖了一层二氧化硅薄膜，避免了PN结表面被水分子、气体分子以及其他离子等沾污，如图4（c）所示。这种二极管的特性比较稳定可靠，多用于开关、脉冲及超高频电路中。国产2CK系列二极管就属于这种类型。

3. 基本参数

晶体二极管的参数很多，常用检波、整流二极管的主要参数有以下几项：

①最大整流电流（I_{FM}）。这是指二极管长期连续工作时，允许正向通过PN结的最大平均电流。最大整流电流亦称额定正向工作电流。使用中，实际工作电流应小于二极管的该参数，否则将损坏二极管。例如，常用2AP9型锗检波二极管的最大整流电流为5mA，1N4001、1N4007型硅整流二极管的最大整流电流均为1A。

②最高反向工作电压（U_{RM}）。这是指反向加在二极管两端而不致引起PN结击穿的最大电压。使用中应选用URM大于实际工作电压2倍以上的二极管，如果实际工作电压的峰值超过该参数，二极管就有被击穿的危险。例如，常用2AP9型锗检波二极管的最高反向工作电压为15V，1N4001型硅整流二极管的最高反向工作电压为50V，1N4007型硅整流二极管的最高反向工作电压为1000V。

③正向电压降（U_F）。指二极管导通时其两端产生的正向电压降，在规定的正向电流下二极管的正向电压越小越好，例如，对于常用的小型锗二极管来说，这个电压大约是0.2V，而硅管则为0.65V左右。

④反向电流（I_R）。是指二极管在规定的温度和最高反向电压作用下，流过二极管的电流。反向电流越小，管子的单向导电性能越好。一般硅二极管的反向电流为10μA或更小，锗二极管的反向电流约为几百微安。

⑤最高工作频率（f_M）。由于PN结极间电容的影响，使二极管所能应用的工作频率有一个上限，f_M是指二极管能正常工作的最高频率。在作检波或高频整流使用时，应选用f_M至少2倍于电路实际工作频率的二极管，否则不能正常工作。例如，常用2AP9型锗检波二极管的最高工作频率为100MHz，1N4000系列硅整流二极管的最高工作频率为3kHz。

4. 型号命名规则

国产晶体二极管的型号命名规定由5个部分组成（也有省掉第五部分的），如2AP9、2CZ54F等。其中：第一位用数字表示二极管。第二位用汉语拼音字母表示管子的材料和极性，如A为锗N型、B为锗P型、C为硅N型、D为硅P型。第三位用汉语拼音字母表示管子的类型，如P为普通管（小信号管）、K为开关管、V为混频检波管、W为稳压管、Z为整流管、L为整流堆、S为隧道管、N为阻尼管、U为光敏管。第四位（数字）、第五位（汉语拼音字母）分别为产品序号和规格，表示最大整流电流、最高反向工作电压、最高工作频率

附表 常用晶体二极管的主要参数

参数 / 型号	最大整流电流	最高反向工作电压	反向击穿电压	正向电压降	反向电流	最高工作频率	主要用途
	I_{FM}/mA	U_{RM}/V	U_{BR}/V	U_F/V	I_R/μA	f_M/kHz	
2AP9	5	15	≥20		≤200	100×103	检波
1N60	30	40			≤200		检波
2CK12	30	40	60	≤1	≤1		高频开关
2CP10	100	25		≤1.5	≤5	50	整流
2CP18	100	400		≤1.5	≤5	50	整流
2CZ53A	300	25		≤1	<5	3	整流
2CZ54F	500	400		≤1	<10	3	整流
1N4148	450	60	100	≤1	<5		高频开关
1N4001	1000	50		≤1	<5	3	整流
1N4004	1000	400		≤1	<5	3	整流
1N4007	1000	1000		≤1	<5	3	整流
1N5400	3000	400		≤0.8	<10	3	整流

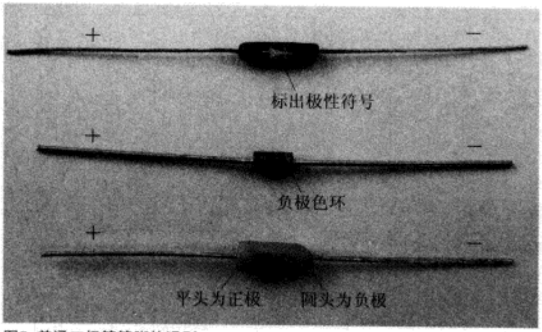


图5 普通二极管管脚的识别

等参数的差异，具体可查有关手册。

源于国外的常见晶体二极管的型号有 1N4000 系列，目前在各种电子装置中应用很普遍，几乎取代了国标型号的产品。但实际上这些二极管并非全部是进口货，大多数为国产。

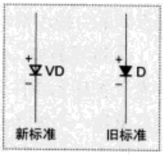


图6 晶体二极管的符号

5. 外壳标注方法

通常情况下，晶体二极管的外壳上只标注型号和极性，不会像电阻器、电容器、电感器那样标注出它的主要参数，要想了解二极管的有关参数，就得查阅有关手册等。附表列出了电子爱好者经常用到的晶体二极管的主要参数。

根据晶体二极管的外壳标志或封装形状，可以区分出两管脚的正、负极性来。常见普通二极管的管脚识别方法如图5所示。国产的二极管通常将电路符号（见图6）印在管壳上，直接标示出引脚极性。小型塑料封装的二极管通常在负极一端印上一道色环作为负极标记。有的二极管两端形状不同，平头一端引脚为正极，圆头一端引脚为负极。熟练掌握这些标志管脚极性的方法，对于正确使用二极管很有必要。

普通二极管的使用

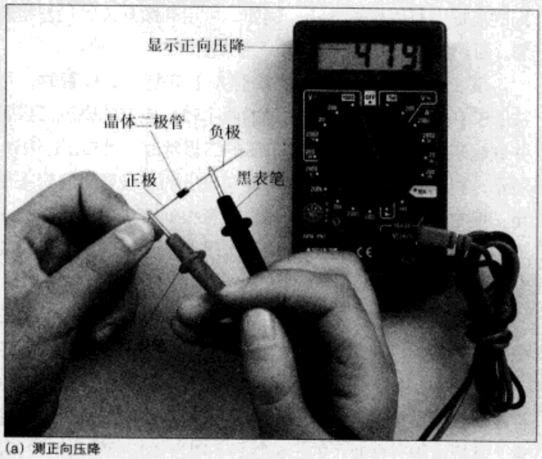
1. 在电路图中的识别

普通晶体二极管在电路图中的符号表示见图6。三角形箭头象征着电流的方向，短直线象征半导体材料。我们知道二极管具有单向导电性，在电路中，电流只能从正极流进二极管，从负极流出二极管。二极管符号旁边的“+”、“−”极性是为了便于说明问题加上去的，实际画电路图时一般都不加注。

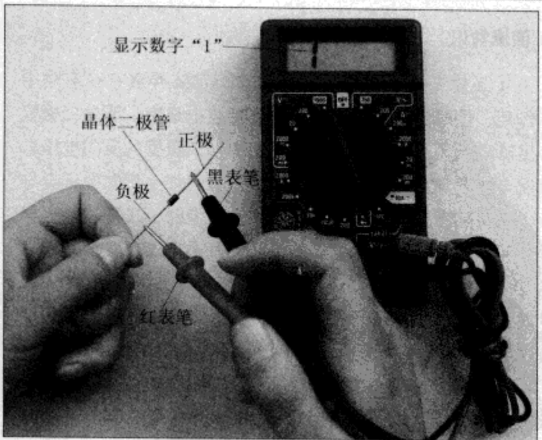
在看电路图时，初学者往往对二极管的符号哪边是正极、哪边是负极弄不清楚，这时不妨采用类比法进行区分：可把二极管的符号看成是一个漏斗（口大下边小），水只能从漏斗大口入、从小口出，水流即电流，电流是由二极管的正极入、负极出的，这样就能很自然地记住符号的三角形一边是二极管的正极了。

2. 检测方法

借助普通万用表的电阻挡，可以粗略地判断晶体二极管的好坏，如图7所示。把万用表拨到“R×100”或“R×1k”挡，将黑表笔接被测二极管的正极、红表笔接被测二极管的负极，由于万用表内的电池正极通黑表笔、负极通红表笔，所以这时万用表指示出的读数是二极管的正向电阻。这个电阻读数较小，一般锗二极管为500~2000Ω，而硅二极管是



(a) 测正向压降



(b) 测反向电阻

图7 晶体二极管的测量

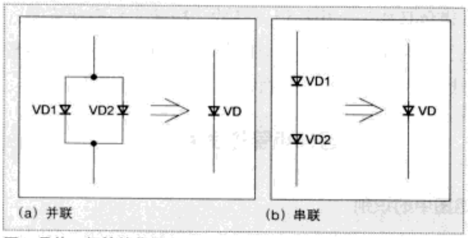


图8 晶体二极管的代用之一

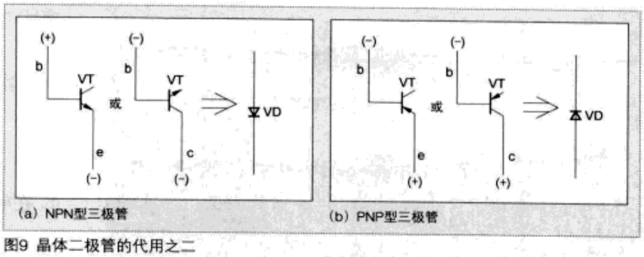


图9 晶体二极管的代用之二

3kΩ左右。根据电阻读数的不同，我们还可以区分出锗二极管和硅二极管。然后，把两支表笔对调一下，再测量二极管的反向电阻。读数应明显变大，锗管应大于几百千欧，而硅管则接近无穷大，指针一般看不出偏转。这一测量结果说明二极管是好的。如果测得的二极管反向电阻很小，说明二极管已经失去了单向导电作用。如果正向和反向电阻都很大，则说明二极管内部已经断路。

上述检测方法还能用来辨认二极管的正、负极。检测结果为小电阻（正向电阻）时，与万用表黑表笔相连的是二极管的正极，与红表笔连接的就是二极管的负极。

普通DT830B型等数字万用表设有专门测量晶体二极管的挡位，可进行正向压降测量和管子好坏的判断，其具体方法如图7所示：首先，将万用表的挡位选择开关旋至测量二极管的“—▶|—”挡位置，把红表笔插头插入“VΩmA”插孔，黑表笔插头插入“COM”插孔。然后，将红表笔（注意：极性为正“+”）接待测晶体二极管的正极，黑表笔接晶体二极管的负极，此时液晶屏直接显示出所测晶体二极管的正向压降近似值。反过来测量，显示“1”，说明二极管是好的。如果正、反测量都显示“1”，说明晶体二极管内部已经开路。

3. 使用常识

①晶体二极管在焊入电路前，一定要弄清它在电路中的作用、型号及主要参数要求。在检波电路中，要求二极管有足够高的频率特性；在整流电路中，二极管的反向电压与整流电流要满足要求。前面说过，二极管加上正向电压会导通，但实际上只有正向电压超过某一个值时，二极管才会导通。能够使二极管开始导通的电压叫开通电压。对于锗管来说，这个电压大约是0.2V，而硅管的开通电压大约是0.65V。所以，在小信号场合下，多使用锗管，而在信号较强的地方，多使用硅管，以发挥它耐高温、不易击穿的优点。

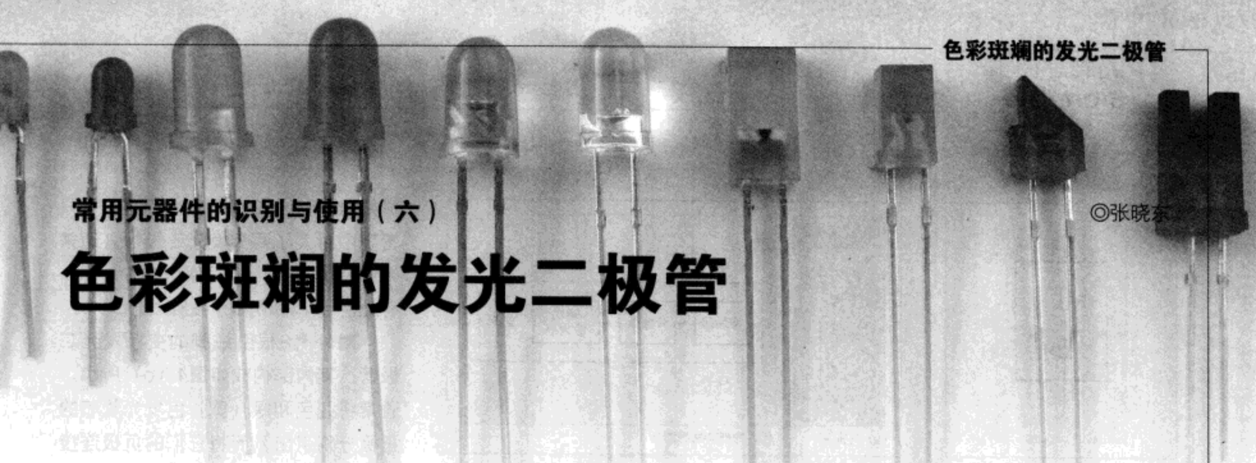
②晶体二极管在焊入电路时，必须按注明的极性正确连接，并且其引线一般不要短于0.8cm，在离根部3mm以内不可弯折。这是为了防止焊接时过多热量传入管内而烫坏芯片，同时也能避免封装管壳破裂。焊接时注意，宜用小于60W的电烙铁，时间不应超过2～3s，并用镊子夹住管壳与焊接点间的引线以帮助散热。

③选择晶体二极管的安装位置时，应注意散热良好，避免靠近发热元器件。工作在高频或脉冲电路的二极管引线，要尽量短，不能用长引线或把引线弯成圈来达到散热目的。最大整流电流I_{FM}是指电阻性或电感性负载下的半波平均值，若整流二极管工作在电容性负载时，I_{FM}宜降低20%使用，否则二极管可能会因过流发热而很快损坏。

④晶体二极管损坏后一般不可修复，只能更换新管。在选配二极管时应尽可能用同型号的二极管，如无同型号二极管更换时，可尽量选择用途相同或相近的二极管进行代换，但要求做到：代换管的材料、极性必须与原管一致，并且相关参数指标不得低于原管。例如，代用整流二极管的最大整流电流和最大反向电压两项极限参数不得低于原管，否则将有可能被烧毁或被击穿。代用检波二极管的最高工作频率不能低于原管，否则不能正常工作。一般说来，材料、极性不同的二极管不宜互代。这主要是因为锗管与硅管的管压降不一样，如果直接代用，电路将不能正常工作，但用途不同的二极管在符合上述原则的前提下可以灵活变通。例如，可用高频开关管代替检波管，可用低频开关管代替小电流整流管等。

⑤业余条件下，当手头没有大电流整流二极管时，可按图8（a）所示，将同一型号的两个较小电流的整流二极管并联起来使用，没有高反向电压的二极管时，可按图8（b）所示，将同一型号的两个较小反向电压的二极管串联起来使用。但在具体应用电路中，还应注意根据需要决定是否加入均衡电路（如均流电阻器或均压电阻器），以确保二极管安全可靠地工作。

⑥业余条件下，对于集电极或发射极引脚齐根断了的三极管，或损坏了一个PN结的三极管，可变废为宝，按照图9所示用作二极管。一般来讲，高频小功率三极管可以用作检波二极管，低频大功率三极管可以用作整流二极管。但注意，基极引脚齐根断了的三极管是不能当做二极管使用的。



常用元器件的识别与使用（六）

色彩斑斓的发光二极管

◎张晓东

发光二极管简称发光管（英文简称LED），它是采用特殊的磷化镓（GaP）或磷砷化镓（GaAsP）等半导体材料制成的、能够将电能直接转换成为光能的半导体器件。发光二极管虽然与普通二极管一样也是由PN结构成的，也具有单向导电性，但发光二极管不是应用它的单向导电性，而是让它发光作指示（显示）、照明器件。

当给发光二极管通过一定正向电流时，它就会发光。与带灯丝的普通小电珠相比，发光二极管具有体积小、色彩艳丽、耗电低、发光效率高、响应速度快、耐振动和使用寿命长等优点，可广泛应用于各种电子、电器装置及仪表设备中。

发光二极管的识别

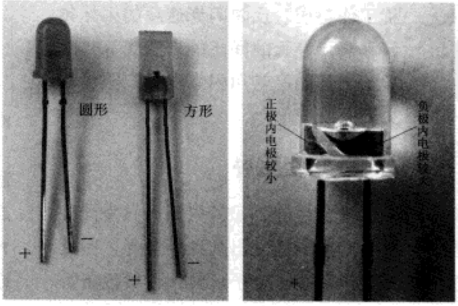
1. 单色发光二极管

单色发光二极管实际上就是我们经常用到的普通发光二极管，它通电后只能发出单一颜色的亮光来。单色发光二极管按其管壳形状可分为圆形、方形和异形3种，圆形尺寸主要有φ3mm、φ5mm、φ10mm，方形尺寸主要有2mm×5mm。按发光亮度来划分，有发光亮度一般的普通发光二极管和高亮度发光二极管。

表征普通发光二极管特性的参数包括电学和光学两类，主要参数有以下几项：

①发光强度（I_V）。②最大工作电流（I_{FM}），国产BT-104（绿色）、BT-204（红色）型发光二极管的最大工作电流均为30mA。③正向电压降（U_F），发光二极管的正向电压降比普通二极管要高，一般在1.8～3.8V范围内。不同颜色和不同制造工艺的发光二极管其工作电压也不同，如红色发光二极管的正向电压降约为1.8V，黄色发光二极管的正向电压降约为2V，绿色发光二极管的正向电压降约为2.3V，白色发光二极管的正向电压降通常高于2.4V，蓝色发光二极管的正向电压降通常高于3V……④最大反向电压（U_{RM}），发光二极管的最大反向电压一般在6V左右，最高不超过十几伏特，这是与普通二极管大不相同的地方。使用中不应使发光二极管承受超过5V的反向电压，否则发光二极管将可能被击穿。

发光二极管的参数还有发光波长、最大耗散功率等，业余使用时可不必考虑，只要选择自己喜欢的颜色和形状就可以了。



(a) 看引脚　(b) 看内部

图1 普通发光二极管管脚的识别

发光二极管的外形很有特色，所以可方便地用眼睛进行极性识别。常见的普通发光二极管，通常较长的一条引脚线为其正极，较短的引脚线为其负极，如图1（a）所示，识别口诀是“长正短负”（这与电解电容器引脚极性判断法一致）。如果观察发光二极管内部，可以发现里面的两个电极一大一小，如图1（b）所示。一般来说，电极较小的一端是发光二极管的正极，电极较大的一端是它的负极。但也有个别的发光二极管（一般都是进口管芯）例外，其内部管芯小的一端是负极、大的一端是正极。所以在碰到进口发光二极管时，为了保险起见，还是借助万用表测量一下为好。

2. 电压型发光二极管

电压型发光二极管内部构成如图2所示。从外观上看，它与普通单色发光二极管几乎没有两样，但内部结构却与普通发光二极管有所区别。其内部由一只限流电阻器R和一个发光二极管管芯串联组成。R可将发光二极管的正向工作电流限定在允许值（一般为10mA或15mA）。使用时，只要在电压型发光二极管的正、负极两端加上额定工作电压，即可让其正常发光。可见，电压型发光二极管与普通发光二极管相比较，省去了外接限流电阻器的麻烦，使电路设计和安装更简单。

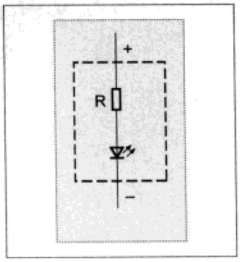
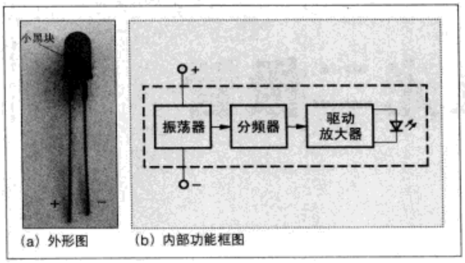


图2 电压型发光二极管内部构成



(a) 外形图 (b) 内部功能框图

图3 闪烁发光二极管

附表 几种闪烁发光二极管的主要参数

参数名称	工作电压	正向电流	闪烁频率	占空比	发光强度	发光峰值波长	颜色
符号	V_{CC}	I_F	f	D	I_V	λ_p	
单位	V	mA	Hz	%	mcd	nm	
测试条件	功能正常	V_{CC}=5V	V_{CC}=5V	V_{CC}=5V	V_{CC}=5V	V_{CC}=5V	
BTS314058	4.75～5.25	7～40	1.3～5.2	33～67	≥0.5	700	红色
BTS324058					≥1	630	橙色
BTS334058					≥1	585	黄色
BTS344058					≥1	565	绿色

国产电压型发光二极管的系列产品，常见的有6种标称电压，分别为：5V、9V、12V、15V、18V和24V。其发光颜色为红色、黄色、绿色等。

3. 闪烁发光二极管

闪烁发光二极管也叫自闪发光二极管，它是一种由CMOS集成电路（互补对称金属氧化物半导体集成电路的英文缩写）和发光二极管组成的特殊发光器件，是光电技术与半导体集成工艺相结合的新产品。这种发光二极管应用于各种信号指示（显示）装置、电子玩具等时，具有电路简单、耗电量小、醒目美观等特点。

常用闪烁发光二极管的外形和内部功能方框图如图3所示。其外表与普通发光二极管完全一样，最大特点在于：内部封装有CMOS大规模集成电路，当外加一定电压时，内部振荡器便产生一定频率的方波脉冲，经分频器变换为超低频脉冲，再通过驱动放大器推动发光二极管管芯闪烁发光。闪烁发光二极管的颜色主要有红色、橙色、黄色和绿色4种。

闪烁发光二极管的正、负极引脚识别与普通发光二极管完全相同。如果用眼睛来观察闪烁发光二极管内部，可以发现里面有一大一小的两个电极，并且小电极上面有一个小黑块——CMOS集成电路，如图3（a）所示。一般来说，电极较小、并附有小黑块的一端是闪烁发光二极管的正极，电极较大的一端是它的负极。

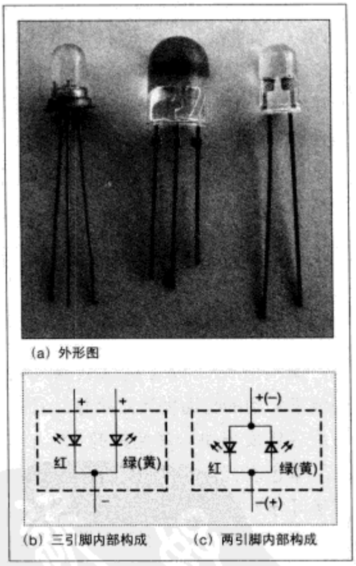
闪烁发光二极管的参数除了正向工作电流、发光强度等以外，还有标称工作电压、反映闪光速度的闪烁频率和表示亮灭时间比的占空比等，附表给出了国产常用闪烁发光二极管的主要参数。

4. 变色发光二极管

变色发光二极管只用一只发光二极管就能变换发出几种颜色光，因此在电子装置、电子玩具、仪器设备等上面多作为不同状态指示或发出多种警告信号。

变色发光二极管的外形和内部构成如图4所示，它的最大特点是在一只管壳中封装了两个发光二极管（通常为红、绿或红、黄两色）管芯，对外有3根引线脚和两根引线脚之分。

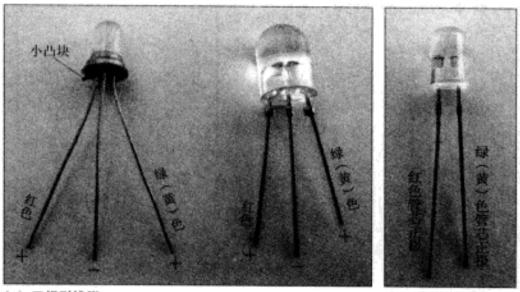
对外有3根引线脚的变色发光二极管，其内部构成如图4（b）所示。通常将红色和绿（黄）色发光管芯的正极分别引出，而将它们的负极连接在一起，通过一根公共负极线引出。当在红色发光二极管的正极与公共负极引线脚之间加上2V左右的直流电压，使之通过合适的电流（一般为3～10mA）时，管子发出红光。同样，当在绿（黄）色发光二极管的正极与公共负极间加上2V电压和同样电流时，管子发出绿光。当红、绿（黄）发光二极管的正、负极之间都



(a) 外形图
(b) 三引脚内部构成 (c) 两引脚内部构成

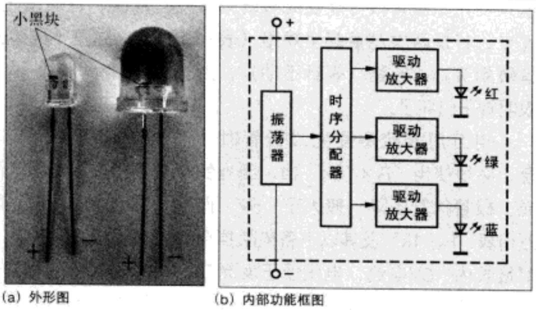
图4 变色发光二极管

通电时，即发出红光与绿（黄）光的混合光——橙（桔红）色光。当红光管芯通过较大电流（如10mA）、绿（黄）光管芯不通电时，然后逐渐减小红光管芯电流、而同时加大绿（黄）光管芯电流，则管子发光颜色会连续地从红光经过一系列中间混合



(a) 三根引线脚　(b) 两根引线脚

图5 变色发光二极管引脚的识别



(a) 外形图　(b) 内部功能框图

图6 七彩发光二极管

光向绿（黄）光转变，反之亦然，这即所谓变色发光的含义。

对外只有两根引线脚的变色发光二极管的内部构成如图4（c）所示，管内红、绿（黄）发光二极管管芯的正、负极反向并联后，再通过两根引线脚引出。当给两根引线脚接上2V左右的直流电压（电流限制在3～10mA之间）时，其中一个管芯会处于正向导通状态，该管即通电发出红光或绿（黄）光。当调换电压极性后，另一个管芯会处于正向导通状态，使其通电发出截然不同的绿（黄）光或红光。当在两根引线脚接上2V左右的交流电时，红、绿（黄）管芯分别在交流电的正、负半周时导通，人眼会看到红光与绿（黄）光的混合光——橙（桔红）色光。

国产变色发光二极管的典型产品有2EF301（红＋黄绿色＝浅橙）、2EF302（红＋绿＝橙）、BT315（红＋绿＝橙）、BT362057RG(红＋绿＝橙)、BT362057RY(红＋黄＝桔红)、BT362057YG(黄＋纯绿＝浅绿)、BT3621526RG(红＋绿＝橙)。业余条件下使用时，可不必考虑型号和参数，一般只要选择所需要的颜色和形状就可以了。

常用变色发光二极管的管脚识别如图5所示。对于有三根引线脚的变色发光二极管，如果管脚排布呈三角形，则将管脚对准自己，从管壳凸出块开始，按顺时针方向，依次为内部红色发光二极管管芯的正极引出脚、绿（黄）色管芯的正极引出脚，公共负极引出脚。如果管脚呈一字排列，其左右两边的管脚分别为内部红、绿（黄）发光二极管管芯的正极引出脚，并且管脚引线稍长的为红色管芯的正极引出脚，稍短的为绿（黄）色管芯的正极引出脚，中间的管脚为公共负极引出脚。有两根引线脚的变色发光二极管，虽然和普通发光二极管一样有长、短引线脚之分，但并不是表示正、负极性。一般稍长的引线脚表示内部红色发光二极管管芯的正极引出脚，稍短的引线表示绿（黄）色管芯的正极引出脚。

5. 七彩发光二极管

七彩发光二极管是一种新颖的高亮度自动变色发光二极管，目前已广泛应用于各种电子产品的装饰、电子玩具等，可起到增辉添彩的神奇效果。

七彩发光二极管的外表与普通发光二极管完全一样，其外形和内部功能框图如图6所示。七彩发光二极管内部封装有大规模集成电路控制的红、绿、蓝“三基色”发光管芯。当外加3～4V直流电压时，内部振荡器便产生频率可自动变化（范围为2～6Hz）的方波脉冲，经时序分配器和三路驱动放大器后，推动红、绿、蓝3个发光管芯按一定顺序搭配工作，从而对外发出不断循环变化的红、绿、蓝、黄、紫、青、白等7种颜色闪光来。

七彩发光二极管的正、负极引脚识别方法与普通发光二极管完全相同。如果用眼睛来观察七彩发光二极管的内部，可以发现里面有两个基本对称的电极，但其中一个电极的上面有一个小黑块——CMOS集成电路，如图6（a）所示。一般来说，电极附有小黑块的引出脚是七彩发光二极管的正极，电极无小黑块的引出脚是它的负极。

发光二极管的使用

1. 检测方法

我们可以像检测普通二极管那样，用普通指针式万用表来判断发光二极管的好坏和区分电极。将万用表拨到“R×10k”挡，测量发光二极管的正、反向电阻。一般在测正向电阻时，表针应偏转过半，同时发光二极管中有一发亮光点。注意：由于万用表内的电池正极通黑表笔、负极通红表笔，所以这时黑表笔所接引脚为发光二极管的正极、红表笔所接为负极。对调两表笔后测其反向电阻，表针应几乎不动（阻值应为无穷大），发光二极管中无发亮光点。在检测中，若发现正、反向电阻相差很少，

这只发光二极管很可能发光极弱或不发光。若是两次测量都呈短路（表针偏转到头）或断路（表针不动），则表明管子已坏了。

用万用表检测发光二极管时注意，必须使用“R×10k”挡。因为发光二极管的管压降一般大于1.5V，而万用表“R×1k”及其以下各电阻挡全部接表内1.5V电池，电压低于发光二极管的管压降，无论正、反向接入，发光二极管都不可能导通，也就无法检测。而采用“R×10k”挡时（见图7），表内接有15V（有些万用表为9V）高压电池，电压高于管压降，所以可以用来检测发光二极管。

电压型发光二极管的检测方法与上面检测普通发光二极管的方法基本相同。用万用表“R×10k”挡测量闪烁发光二极管、七彩发光二极管的正、反向电阻时，表针均会偏转过半，但正向导通时，表针均会轻微抖动（振荡），并且发光二极管中有闪亮的光点。这是由于发光二极管内部的集成电路在万用表电池电压的作用下起振，所输出的脉冲电流使表针产生了轻微抖动。此时黑表笔所接的引脚为正极，红表笔所接的引脚为负极。测反向电阻时，表针既不会轻微抖动，发光二极管也不会产生闪亮光点。如果检测中发现正、反向电阻非常小（表针偏转到头），或非常大（表针不动），则表明被测管子内部已击穿或断路。

变色发光二极管好坏的检测方法、极性判断和颜色分辨等，均可参照检测普通发光二极管的基本方法进行，这里不再赘述。

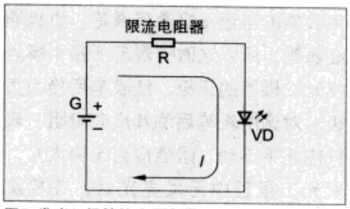


图8 发光二极管的应用电路

2. 使用常识

（1）发光二极管的型号比较杂乱繁多。虽然国产部标型号为FGXXXXX，但市场上及设备上我们仍可见到许多以BTXXXX、2EFXXX、LEDXXX及TMXXX等厂标型号命名的发光二极管。进口产品的型号也是五花八门。好在一般使用场合对发光二极管要求不高，只要外形及颜色相符，大多数不同型号的发光二极管均可互换使用。对于高亮度或低电压等特殊型发光二极管，可查阅相关产品手册或资料后再选用。

（2）普通发光二极管的发光颜色一般和它自身的颜色相同，但也有发出红、黄、绿、蓝等各种颜色的白色透明壳体的发光二极管；变色发光二极管、七彩发光二极管一般都是白色透明壳体，它们到底发何种颜色的光、色彩如何变化等,最简单的方法就是通电观察。

（3）发光二极管可以用直流电，也可以用交流电或脉冲电流点亮。发光二极管是一种电流型器件，其发光亮度与工作电流成正比，而工作电流依它们的型号不同，一般在5～30mA范围内（照明用发光二极管除外）。如果在大电流下长期使用，容易使发光二极管亮度衰退，降低使用寿命，过大的电流（指超过管子所允许的极限值）还会烧毁管子。为了防止过大电流烧坏发光二极管，电路中一定要串联合适的限流电阻器，切不可将发光二极管直接接到电源两端。

（4）发光二极管典型的直流供电电路如图8所示。图中的电阻器R用来限制发光二极管的工作电流，防止发光二极管因工作电流过大而损坏。改变R的阻值大小，可以改变发光二极管的工作电流大小和亮度。R的阻值由下式估算：

R=（电源电压－发光二极管正向电压降）÷工作电流

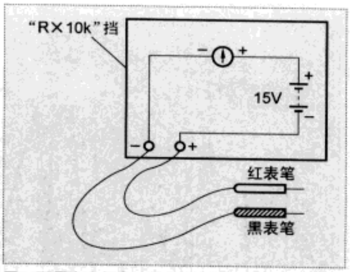


图7 万用表内部电池接法示意图

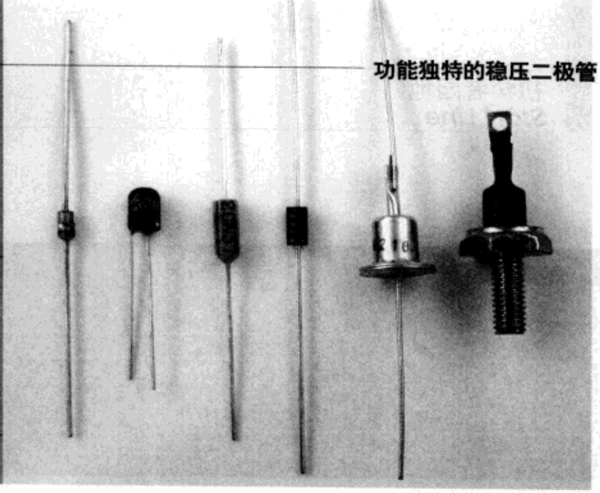
计算时，电压单位用伏特（V），电流单位用安培（A），电阻单位则为欧姆（Ω）。

（5）电压型发光二极管必须在额定电压下使用，低于额定值，亮度会降低，超过额定值则有可能损坏管子。闪烁发光二极管的最佳工作电压一般为3～6V，电压偏低，亮度降低，且闪烁会停止变为常亮。如果超过允许值过电压使用，则会损坏管子。

（6）业余条件下，电压型发光二极管损坏后，可用一只普通发光二极管串联一只限流电阻器代用。电阻值的大小可按上面介绍的公式计算得出。变色发光二极管的某一只管芯损坏后，可利用其中未损坏的一只管芯作为单色发光二极管使用。

（7）由于发光二极管多是用环氧树脂等透光性能良好的有机材料将管芯封装制成，其软化温度在150℃左右，所以焊接管脚时要特别注意散热问题，宜使用25W以下的电烙铁，且不得焊接时间过长，以免烫坏管壳。如果安装空间允许的话，可用镊子夹住引脚根部，以帮助散热。另外注意，发光二极管的安装位置应尽量远离发热元器件（例如功率放大管、电源变压器等）。

（8）要注意保护发光二极管管壳的光洁，不使其受机械损伤，以免影响透光性能。管体也不能受力，安装时其引脚根部（2mm以内）不允许弯曲。



常用元器件的识别与使用（七）

功能独特的稳压二极管

◎张晓东

稳压二极管（又名齐纳二极管）简称稳压管，顾名思义它是一种专门用来稳定电路工作电压的二极管。我们知道，当普通二极管外加的反向电压大到一定数值后，反向电流会突然增大，将管子损坏，这种现象叫做“击穿”。但是由于稳压二极管内部构造的特点，它却正适合在反向击穿状态下工作，只要限制电流的大小，这种击穿是非破坏性的。这时尽管通过稳压二极管的电流在很大范围内变化，但是稳压二极管两端的电压几乎不变，保持稳定。

稳压二极管是一种特殊的具有稳压功能的二极管，其最大特点是工作于反向击穿状态时具有稳定的端电压。

稳压二极管的识别

稳压二极管在电路中的功能和用法完全不同于一般的普通二极管。由于它在电路中承担着稳定或限制工作电压的重要任务，直接关系着整个电路的安全和正常工作，所以要求初学者必须正确掌握识别和运用稳压二极管的基本技能。

1. 基本特性

稳压二极管是利用PN结反向击穿后，其端电压在一定范围内不随反向电流变化而变化的特性工作的。稳压二极管的基本特性可通过图1所示的伏安特性曲线来说明：稳压二极管的正向特性与普通二极管完全一致，即给PN结加上正向电压（稳压二极管正极接正电压或高电压，负极接负电压或低电压）时，会产生较大的正向电流。加较低反向电压时则截止，只有很小的反向电流。当反向电压增大到一定程度（图中U_Z）时，通过PN结的反向电流突然增大，稳压二极管就进入了击穿区。这时即使反向电流在很大范围内变化时，稳压二极管两端的反向电压能保持基本不变。当反向电流大到一定数值（图中I_{ZM}）时，稳压二极管就会因过热而损坏。可见，只要适当控制反向电流的数值，稳压二极管是不会损坏的。

2. 外形及种类

稳压二极管的外形与某些普通二极管几乎没有什么区别。稳压二极管的外壳材料有玻璃、塑料、金属3种，一般小功率稳压二极管采用玻璃或塑料封装，大功率稳压二极管采用散热良好的金属外壳封装。由于稳压二极管一般用硅半导体材料制成，所以也称硅稳压二极管或硅稳压管。

3. 基本参数

由于稳压二极管是工作在反向击穿状态下的，其主要用途又是稳压，所以它的主要技术参数与普通二极管的参数大相径庭。稳压二极管的主要

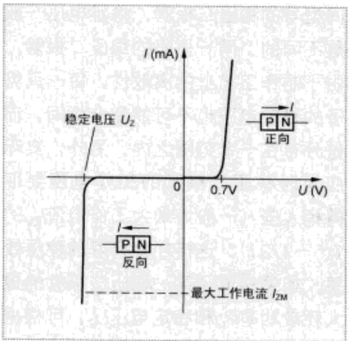
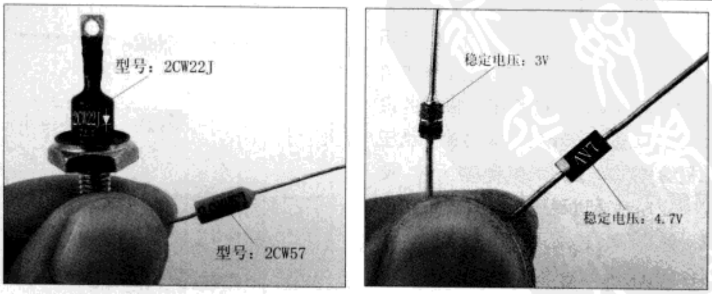


图1 稳压二极管的伏安特性曲线



(a) 标出型号 (b) 标出稳定电压

图2 常用稳压二极管的标注方法

附表 常用稳压二极管的主要参数

参数 型号	稳定电压 U_Z/V	动态电阻 R_Z/Ω	最大工作电流 I_{ZM}/mA	最大耗散功率 P_M/mW	可代换产品
2CW51	2.5~3.5	60	71	250	1N4618、1N4619、1N4620、2CW10
2CW54	5.5~6.5	30	38	250	1N4627、2CW13
2CW60	11.5~12.5	40	19	250	1N4106、2CW19
2CW101	2.5~3.5	25	280	1000	1N4728、2CW21S
2CW104	5.5~6.5	15	150	1000	1N4734、1N4735、2CW21B
2CW110	11.5~12.5	20	76	1000	1N4742、2CW21H
2DW230	5.8~6.6	≤25	30	200	2DW7A

技术参数有以下5项：

(1) 稳定电压 (U_Z)。这是指稳压二极管在起稳压作用的范围内，其两端的反向电压值，通常简称“稳压值”。稳压二极管的稳定电压值随其工作电流和温度的变化而略有变化。不同型号的稳压二极管一般具有不同的稳定电压 U_Z，即使是同一型号的稳压二极管，稳定电压值也不可能完全相同，使用时应根据需要选取。在要求较严的情况下，稳压二极管的具体稳定电压应由实测确定。

(2) 工作电流 (I_Z)。这是指稳压二极管正常工作时，通过管子的反向击穿电流。稳压二极管的工作电流偏小，稳压效果就会变差；而电流过大，则会使稳压二极管过热损坏。一般在允许的工作电流范围内，电流大些，稳压效果相对更好些，只是稳压二极管要多消耗一部分电能。与普通二极管不同的是，稳压二极管的工作电流是从它的负极流向正极的。

(3) 最大工作电流 (I_{ZM})。这是指稳压二极管长期正常工作时，所允许通过的最大反向电流值。例如，常用 2CW51 型稳压二极管的最大工作电流为 71mA、1N4619 硅稳压二极管的最大工作电流为 85mA、1N4728 型稳压二极管的最大工作电流为 270mA。使用中应控制通过稳压二极管的工作电流，使其不超过最大工作电流 I_{ZM}，否则会烧毁稳压二极管。

(4) 最大耗散功率 (P_M)。这是指当反向电流通过稳压二极管时，管子本身消耗功率的最大允许值，也称额定功耗。例如，常用 2CW51、1N4619 型稳压二极管的最大耗散功率为 250mW，1N4728 型稳压二极管的最大耗散功率为 1W。实际使用时，不允许稳压二极管消耗的功率（稳定电压 U_Z 与工作电流 I_Z 的乘积）超过这个极限值。

(5) 动态电阻 (R_Z)。稳压二极管工作时，我们希望在电流变化范围很大时，所稳定的电压变化尽量小些。为了准确反映这一性能，规定把电压变化量 ΔU_Z 与电流变化量 ΔI_Z 的比值，叫做稳压二极管的动态电阻，即：$R_Z = \Delta U_Z / \Delta I_Z$。可见，稳压二极管的动态电阻越小，说明稳压二极管的稳压性能越好。实践证明，同一稳压二极管的动态电阻随工作电流大小而改变，工作电流较大时，其动态电阻较小；工作电流偏小时，动态电阻会明显增大。

4. 型号命名规则

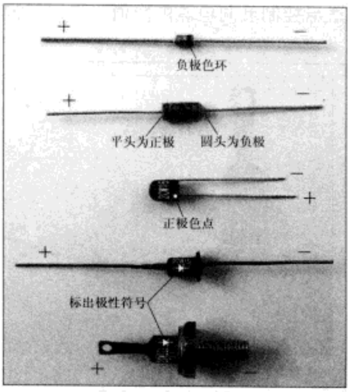


图3 常用稳压二极管管脚的识别

国产稳压二极管的型号命名规定由5个部分组成（也有省掉第五部分的），如2DW1、2CW21B等。其中：第一位用数字表示二极管，第二位用汉语拼音字母表示管子的材料和极性，如C为硅N型、D为硅P型；第三位用汉语拼音字母W表示稳压管；第四位（数字）、第五位（汉语拼音字母）分别表示产品序号和规格，表示稳定电压、最大工作电流、最大允许耗散功率的差异，其中第五位的汉语拼音字母专门用于区分稳定电压的范围，具体可查有关手册。

跟普通晶体二极管一样，源于国外的1N4000系列稳压二极管，目前在各种电子装置中应用很普遍，几乎有取代国标型号产品的趋势。但实际上这些稳压二极管并非全都是进口货，实际上大多数为国产。

5. 外壳标注方法

常见稳压二极管多数情况下只在管体上标出型号和极性，如图 2 (a) 所示；有的体积小的稳压二极管仅标出稳定电压（例如标出“4V7”表示该管的稳定电压值为 4.7V）和极性，如图 2 (b) 所示。要想进一步了解稳压二极管的有关参数，就得查阅有关手册等。

附表列出了电子爱好者经常用到的几种稳压二极管的主要参数。需要说明的是，对于一个具体的稳压二极管，它的稳定电压是一个确定值。不同型号的稳压二极管，稳定电压一般是不同的。同一型号的稳压二极管，由于制作工艺上的离散性，每一只管子的稳定电压也不可能完全相同，而是分布在一个范围之内。另外，实际应用时稳压二极管的工作电流要取得稍大些（一般为最大工作电流 I_{ZM} 的1/5～1/2），这样才会有好的稳压效果。如果知道了某一稳压二极管的最大耗散功率 P_M 和稳定电压 U_Z，可根据公式 $I_{ZM}=P_M \div U_Z$ 计算出它的最大工作电

流来。

根据稳压二极管的外壳标志或封装形状，可以区分出两管脚的正、负极性来。图3所示是常见国产稳压二极管的引脚识别方法。由图可知，稳压二极管两引脚的正、负极识别方法，与普通二极管完全相同。需要注意的是，由于稳压二极管工作在反向击穿状态，所以在接入电路时，其负极应接高电位，正极应接低电位。

稳压二极管的使用

1. 在电路图中的识别

稳压二极管的符号如图4所示，其电路符号是在普通二极管符号的短直线一端加上了一个小直角（旧标准为两个短斜线），以区别并表示稳压二极管在电路中需要反接，即稳压二极管的负极接电路中的高电位、正极接低电位，这样才能正常稳压。二极管符号旁边的“+”、“−”极性（注意不是电路工作电压极性）是为便于说明问题加上去的，实际画电路图时都不加注。

稳压二极管的文字符号是VD（旧符号是DW），在电路图中常写在电路符号旁边。若电路图中有多只同类元器件时，就在文字后面或右下角标上数字，以示区别，如VD1、VD2……文字符号的后面或下边，一般标出稳压二极管的型号或稳定电压值。

2. 检测方法

跟普通二极管一样，用万用表“R×1k”挡测量稳压二极管时，它的正向电阻较小而反向电阻很大。稳压二极管的引线极性可通过万用表来判别：在测得稳压二极管正向电阻时，与万用表黑表笔相连的引脚是稳压二极管的正极引线。

对一些标记不清楚、稳定电压在12V以内的稳压二极管，可以用MF50型等万用表来估测它的稳定电压值。方法是：将万用表置于“R×10k”高阻挡，红表笔（表内15V电池负极）接稳压二极管正极，黑表笔（表内电池正极）接稳压二极管负极，如图4所示。测量时利用万用表原有的10V挡刻度来读取数字X，并代入以下公式计算：

稳定电压=(1−0.1X)×15V

例如，图4中万用表的读数在6.4V处，那么被测稳压二极管的稳定电压就等于：(1−0.64)×15V=5.4V。由于测量时电流较小，这样得到的数值比实际值要稍小一些。

如果所用万用表的“R×10k”挡高压电池不是15V，则将上式中的“15V”改为所用万用表内高压电池的电压值即可。

对于稳定电压大于12V的稳压二极管，可搭接图6所示的模拟工作电路进行测量。图中的直流电源可以是稳压电源，也可以是数节95或15V叠层干电池串联而成的电池组，要求输出电压应大于被测稳压二极管VD的稳定电压。适当选取限流电阻器R的阻值，使稳压二极管的工作电流为5～10mA，用万用表的直流电压挡即可直接测量出稳压二极管的稳定电压值。

测量时注意，限流电阻器R的阻值宜选≥510Ω，应分挡逐渐提高直流电源的电压。若万用表测得的数值与直流电源的输出电压相等，说明被测稳

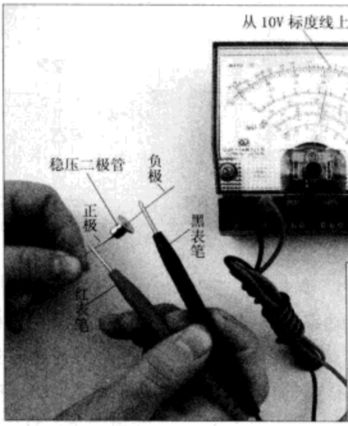


图4 测量稳定电压的方法一

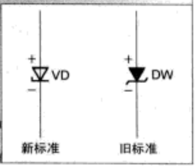


图5 稳压二极管的符号

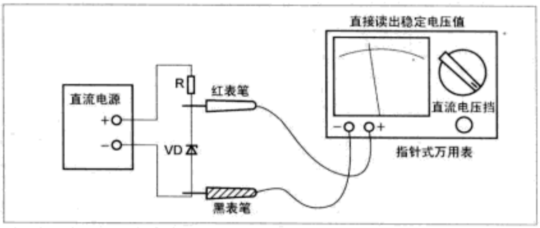


图6 测量稳定电压的方法二

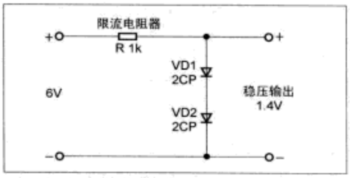
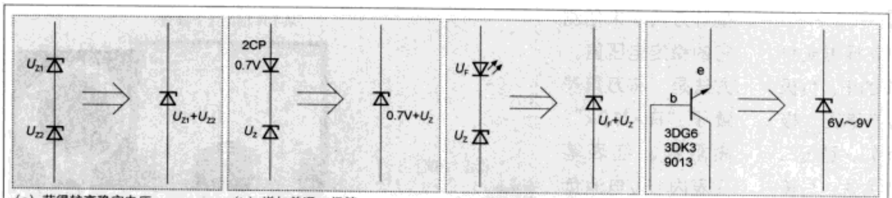


图7 稳压二极管的代用之一

压二极管并未反向击穿，这时应提高直流电源的输出电压后再进行测量。由于业余电子制作时，常用稳压二极管的稳定电压一般不会超过30V，采用0～30V的可调稳压电源或2～4节9V叠层干电池串联供电，即可满足一般测量时的要求。

3. 使用常识

（1）使用稳压二极管必须遵循“三要点”：一是稳压二极管一定要与合适的限流电阻器相配合；二是稳压二极管在电路中一定是反向连接，并且与负载并联才能起到稳定电压的作用；三是在



(a) 获得较高稳定电压 (b) 增加普通二极管 (c) 增加发光二极管 (d) 用晶体三极管代用

图7 稳压二极管的代用之二

允许的环境温度范围内，要求稳压二极管的工作电流与耗散功率均不得超过规定的极限值。

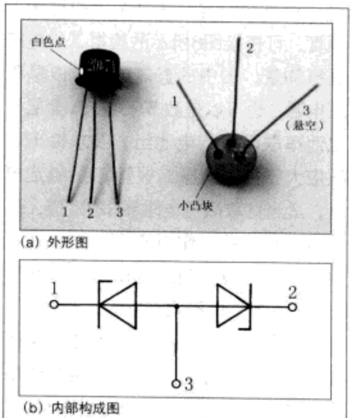
(2) 单个稳压二极管的稳定电压一般在 1 ~ 100V 之间。实际应用中，可以将任意数量的稳压二极管串联起来使用，但不得并联使用。串联稳压二极管的总稳定电压值，等于各串联稳压二极管稳定电压值之和。

(3) 小型稳压二极管引脚线的焊接，必须在离外壳 3mm 以外处进行，要用 30W 以下的电烙铁，并尽可能用镊子、尖嘴钳等夹住引脚根部帮助散热，焊接时间不能过长，以免损坏管子。另外，一定要注意其外壳上标注的极性，注意正极应接电路电源的负极端，负极应接电路电源的正极端。也就是说，稳压二极管在电路中的极性连接，与其外壳上所标明的极性正好相反。如果使用时，发现稳压二极管两端电压只有 0.7V 左右，那就是极性接反了。

(4) 电路中的稳压二极管损坏后，应用相同型号的稳压二极管进行更换。如无相同型号的稳压二极管，可用电参数相同的其他型号的稳压二极管进行替换。具体的替换要点是，所替换上去的稳压二极管的稳定电压值 U_Z 与原稳压二极管应相同，而最大工作电流 I_{ZM} 则要相等或比原管更大。

(5) 在电子制作时，有时需要用到工作电压较低的稳压二极管，如果手头没有合适的稳压二极管，可以用普通 2CP 系列、2CK 系列、1N4148、1N4001 等型硅二极管或普通发光二极管来代替。由于普通硅二极管的正向导通电压≥ 0.65V，各种发光二极管的正向工作电压在 1.8~3.8V 之间。利用它们的正向导通特性，可在电路中得到相应的稳定电压，并且发光二极管还可兼作电源指示灯。图 7 所示就是用两只 2CP 型二极管串联，得到 1.4V 稳定电压的例子。

(6) 有时需要一些稳定电压比较特殊的稳压二极管，在市场上不易买到，可用 2 ~ 3 只工作电流相近的较低电压稳压二极管串联起来代用，使总稳定电压（各稳压二极管稳定电压之和）等于所需稳定电压，如图 8 (a) 所示。当所用稳压二极管的稳定电压比我们要求的稳定电压略低时，可以通过串联硅二极管或发光二极管来提高其稳定电压，以补足稳压二极管所差的电压值，如图 8 (b)、(c) 所示。例如，一个 5.3V 的稳压二极管与一个 2CP10 型二极管串联，就可获得 6V 的稳定电压值。另外，常用 3DG6、3DK3、9013 等晶体三极管的基极 b 与发射极 e 之间（称发射结）的反向击穿电压大多在 6 ~ 9V，按图 7 (d) 所示，将发射极 e 接电源正端、基极 b 接电源负端，当工作电流在 10mA 左右时，稳压效果较好。

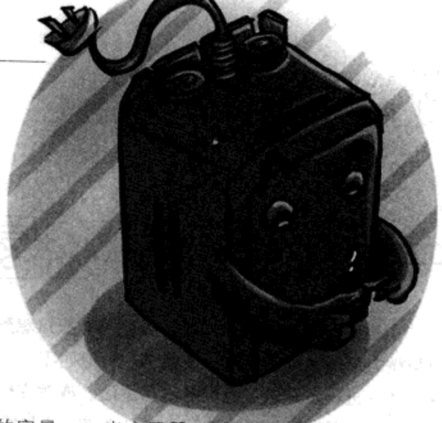


(a) 外形图
(b) 内部构成图

图 9 三引脚稳压二极管

(7) 由于制作工艺上的离散性，同一型号的稳压二极管的稳定电压值一般只是相近，而不完全相同，比如 2CW51 型稳压二极管的稳定电压在 2.5~3.5V，这就是说，如果把一个 2CW51 型稳压二极管接到电路中，它可能稳压在 2.5V，再换一个 2CW51 型稳压二极管，它可能稳压在 3.5V。在调换稳压二极管时，必须注意这一点。如果所调换的稳压二极管稳定电压值比原管小许多，可参考上面的图 8 (b) 或图 7 (c) 所示，通过串联硅二极管或发光二极管来提高其稳定电压。

(8) 具有温度补偿特性的 2DW230 ~ 2DW236（厂标型号 2DW7A~2DW7C）型硅稳压二极管有三个管脚，其外形和内部构成如图 9 所示。这种稳压二极管由一个正向硅稳压二极管和一个反向硅稳压二极管背靠背串接起来，并封装在一个金属管壳内制作而成。使用时，“3”脚空着不用（便于随时测量、分析），管帽侧面有白点标记对应的管脚接电源正极，另一管脚接电源负极。这时，反接的管子作稳压用，而正接的管子（稳定电压约 0.7V）主要作温度补偿用。因此这种三引脚稳压管的温度稳定性能比一般稳压二极管要好，被广泛应用于对温度稳定度要求较高的各种精密稳压电路中。这种管子的稳定电压值为 5.8 ~ 6.6V。当“1”脚或“2”脚中有一脚断掉时，则可用“3”脚与“2”脚或“1”脚当作普通稳压二极管使用，但稳定电压值比用“1”脚和“2”脚时低 0.7V 左右。



变压器使用常识

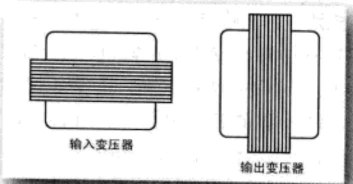
◎张晓东　肖影雪　张传贝

使用变压器时注意以下几点：

1. 大多数变压器在使用时要分清线圈的同名端。例如，在变压器反馈式振荡器中，如不注意同名端，则有可能将正反馈接成负反馈，致使电路不振荡。电源变压器次级的两个绕组在串联使用时，也必须注意同名端和异名端，因为感应电动势在同名端极性相同，所以串联时必须将异名端相连（即绕组端点顺序相连），这样次级感应电动势才能相加（即输出总电压为各绕组电压之和）。如若接错，则电动势就要相减，这将使次级线圈不能向负载有效地供电。

2. 由于变压器是一种电磁感应元件，所以它在工作时会对周围电感元器件产生一定的影响。为了尽可能地降低不良影响，在安装时必须注意它的位置及其角度。例如，晶体管收音机的输入、输出变压器在安装时一定要保持间距，如受条件限制则应使两者相互垂直（如附图所示），并且尽可能地远离磁性天线和电源变压器，以免产生干扰噪声或交流哼声。中频变压器也应尽量避免与磁棒平行。磁棒还应该尽可能地远离扬声器，以免因磁化而降低灵敏度。有时为了防止干扰还需将有关元器件屏蔽起来。

3. 选择电源变压器时必须注意，它的额定功率（容量）不得小于整个供电电路的耗电量。若变压器的容量不够，使用中温度会升得太高，轻者缩短寿命，严重时可能烧毁变压器。供电电路的耗电量大小，可通过其电源电压与工作电流相乘计算出来。另外，电源变压器绕组的允许工作电流同样不得小于所接负载的实际工作电流，否则也有烧毁变压器的危险。



输入、输出变压器垂直安装示意图

4. 安装功率型变压器时要考虑它的散热性能。特别是电源变压器，应安装在有利于散热的位置，并注意安全，初级必须装有套管以防触电。

5. 变压器线圈只有通交变的电流才能产生感应电动势，如果将初级接在直流电源上，则静态下次级无感应电压。由于线圈的直流电阻很小，接在直流电路中，则是一个纯电阻负载，因此变压器将发热直至烧坏。

6. 在使用磁性材料时，一定要分清是高频磁性材料，还是中频磁性材料。在收音机中波磁性天线以及465kHz的中频变压器中使用的磁性材料，必须用中频磁性材料。在收音机短波天线以及电视机的中频变压器中使用的磁性材料，必须是高频磁性材料。如若弄错将严重影响整机灵敏度。另外，当磁芯调整后必须用高频蜡固定，以防震动。但要注意采用专门的高频蜡，不能采用普通蜡烛，否则也会降低线圈的*Q*值。

7 .选择音频输入、输出变压器时注意，为了实现级间的合理匹配，必须恰当地选择阻抗比。一般说来，阻抗比越大，电压增益越高，不失真输出功率越小；阻抗比小时，情况则相反。根据这种情况，简易的晶体管收音机，宜选用阻抗比较大的输入、输出变压器，以提高整机增益。而在一些高档收音机中，则应选用阻抗比较小的输入、输出变压器，以增大不失真输出功率。另外，如果设备体积允许，应尽量选用体积大一些的，并且尽量选用铁芯材料是坡莫合金的变压器。这是因为体积大的变压器低音丰富、传输效率高，而坡莫合金作铁芯的变压器，其频响特性、传输效率均优于相同体积的以硅钢片作铁芯的变压器，只是价格相对贵一些。

8. 中频变压器安装时位置应远离磁棒，以免造成电路的自激振荡；其屏蔽罩（外壳）必须接地，如不与电路相接而悬空，就不能起到良好的屏蔽作用。对于有隔离层的电源变压器，在使用时也应将其接地（指变压器输出端所接电路的公共“地”端），这对降低各种干扰、特别是高频干扰有好处。

9. 调整中频变压器和振荡线圈等的磁帽时，应使用无感起子（用非铁磁材料制成的专用起子）或竹片，用力要轻、旋转要慢。如用普通小螺丝刀调整，受磁化现象的影响，不易调得准确。若遇磁帽滑扣时，可将外壳相对的两面（通常是开有一小段缝隙的两面），用钳子向里适当夹一下，使内部磁帽与骨架接触紧密一些；还可将外壳取下来，在磁帽与骨架之间放入一根较细的橡皮筋，再照原样装好。两种方法以前者较为简单，但对有的产品不适用。后者较稳妥，但在取下外壳时一定要小心，防止碰断内部线圈引线。调整完毕，可用石蜡（或快干漆）将磁帽封固，以免受振动后位置移动，使工作状态改变。

一项有趣的磁悬浮试验

◎王超　梁鑫辉

引言：一提起“磁悬浮”，我们可能直接想到的是上海的磁悬浮列车，它是依靠磁力与重力平衡使列车悬浮，使列车在行进时不产生轨道的摩擦力。随着科技的发展，磁悬浮产品进一步走进了我们的日常生活。成龙在电影《霹雳火》中就玩过一种叫“磁悬浮飞碟”的科技玩具，这种玩具有一点美中不足的是:它很难玩，要有技巧。现在网上卖着一种叫“磁悬浮地球仪”（图1）的产品，可以让“地球”飘起来。我们乍一看这个装置，会觉得“这太神奇了！”。笔者当初也被它深深吸引，怀着对新鲜事物的疑惑与向往，笔者希望通过自己的实验揭开它的神秘面纱！

图1 磁悬浮地球仪

磁悬浮装置其实就是依靠位移传感器来探测悬浮体的位移，并由控制电路根据传感器输出的位移信号控制电磁铁，再由电磁铁产生的磁力对悬浮体进行控制。市场上绝大多数磁悬浮装置的传感器无非两种：线性霍尔效应传感器和红外线传感器。笔者发现，线性霍尔效应传感器灵敏度高，并且受外界影响小，更适合构架磁悬浮装置。因为霍尔效应传感器是用来探测磁感应强度的，所以悬浮体上要安装一块磁铁（最好是钕铁硼磁铁）。磁铁起两个作用：①随着位移的变化，传感器根据所在位置磁感应强度的变化产生控制信号，②作为电磁铁的牵引对象，电磁铁产生的磁场吸引磁铁。

在具体的稳定工作状态中，如果磁铁（此处让N极对准传感器）在平衡位置时突然有一个向下的位移，此时磁铁到传感器的距离变大，磁铁在传感器所在位置处的磁感应强度变小，传感器输出低电平。经过控制电路处理，控制电路增大电磁铁中的电流，使电磁铁产生一个更大的磁力，从而把磁铁（悬浮体）拉回平衡位置。同样，如果磁铁有向上的位移，此时磁铁到传感器的距离变小，磁铁在传感器所在位置处的磁感应强度变大，传感器输出高电平。经过控制电路处理，控制电路减小电磁铁中的电流，使电磁铁磁力减小，由于重力作用，磁铁（悬浮物）也被拖回平衡位置。磁悬浮原理框图见图2。

具体电路与制作

磁悬浮控制电路见图3。传感器IC2采用线性性质较好的SS495A线性霍尔元件（见图4）。当IC2工作在一个稳定的5V电压时，它的输出电压正比于磁铁的磁感应强度，它能探测与磁铁之间的距离，IC2的输出电压（位移信号）加在运算放大器的正向输入端上，经过比较器对正向输入电压与反向输入电压比较之后，运算放大器的输出电压进而对VT1进行控制。VT1由此再对L1进行作用，IC2在外界磁感应强度为零时输出电压已经达到2.5V。需要说明的是，磁铁的N、S极对IC2的作用是不一样的，当你用磁铁的N极对准IC2并且一直靠近时，输出电压会在2.5V基础上一直变大。当你用磁铁的S极对准IC2并且一直靠近时，输出电压会在2.5V基础上一直变小。IC2直接安装在电磁铁的头部即可，电磁铁L1并不一定非要加铁芯，只用一个阻值为40Ω左右的电磁线圈也是可以的，当一个强度合适的磁铁距离IC2大约2cm时，IC2输出大约3.2V的电压。

此时如果调节RP1，使电位器RP1的输出电压在3.2V左右，磁铁就可以悬浮了。当然，实际电压可能稍有出入。R1、R2、C3组成正向反馈电路，使电路产生振荡，振荡频率在10～100Hz。VT1在工作过程中产热很小，所以不必为VT1的散热问题担忧。当输入IC1的正向电压与反向电压相近时，VT1关闭，而此时电磁铁L1产生的磁场并不会立即消失，因为电感的电

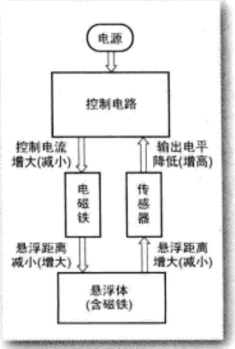


图2 磁悬浮原理框图

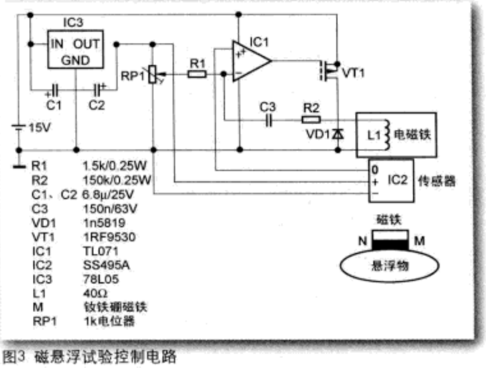


图3 磁悬浮试验控制电路

流不会突变。原先L1中的电流流经VD1从而形成回路，由于电流在减弱，所以L1产生的磁场也在减弱。当VT1打开时，由于L1的自感使L1中的电流缓慢增加，不加铁芯的电磁线圈（图5）可以当作电磁铁，但它能吸起的东西太轻。如果你用加铁芯的电磁线圈（图6），它产生的磁力会大大增加，可以吸更沉一点的东西，但是磁铁可能会直接吸在电磁线圈的铁芯上。相比之下，直接用无铁芯的电磁线圈虽然吸力小，但很稳定。用加铁芯的电磁线圈虽然吸力大，但却不够稳定，一不小心磁铁就吸到铁芯上了。

组装调试

因为此电路很简单，可以不必使用PCB板，制作完成的控制电路见图6，安装如图7所示。C1、C2如果不易购得，可用10μF的电解电容。IC1在使用时只用2、3、4、6、7即可，这几个引脚分别对应反向输入端、正向输入端、电源负极、输出端、电源正极。其他引脚无需使用。P1最好采用精密电位器，这可使调节更准确。L1可以直接用交流接触器，但要注意电阻值，如果嫌直接用交流接触器的磁力小，可加铁芯。如果没有电磁线圈，可选用直径为0.35mm的漆包线自行绕制。电源的电压范围在5～15V之间，电压越低电路所需电流越小。需注意电路所配置的直流电压源所能提供的最大电流应大于电路工作时的最大电流。传感器直接安装在电磁线圈的下面即可。悬浮用的磁铁最好选用钕铁硼磁铁，圆柱体，直径在1cm以内，厚一些，这样悬浮起来更稳定。把电磁线圈安装在传感器的反面，并固定在一个C形架上，接通电源，拿磁铁的N极靠近传感器，应该可以感觉到有力的存在。如果不是引力，说明电磁线圈的两个电极接反，颠倒一下就好了。这是可以试一下看看磁铁能否悬浮，如果不能，可以先增加电压，如果增加电压不起作用，可调节电位器，如果还不行，那就换一块质量小一点的磁铁。如果你用的是无铁芯线圈，可以加个铁芯试试。如果你成功了，可以在磁铁下粘一个小饰品，让它也一起悬浮。

【参考数据】

电压	有无铁芯	最大悬浮体重量(含磁铁)	悬浮距离
12～15V	无	25g左右	约20mm
12～15V	有	75g左右	约25mm

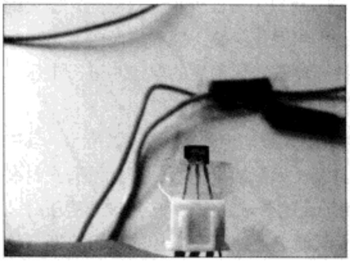


图4 传感器

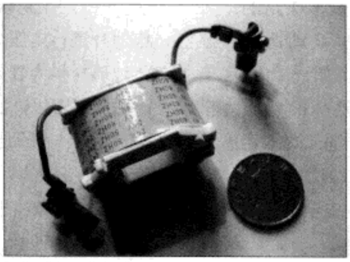


图5 不加铁芯的线圈

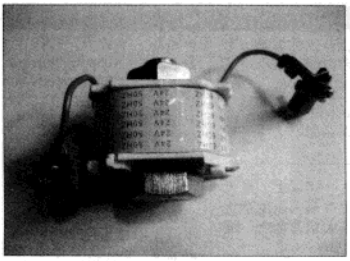


图6 加铁芯的线圈

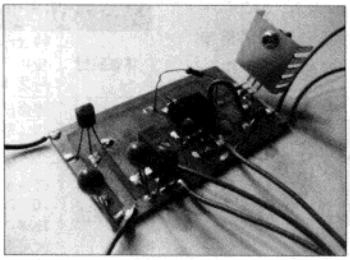


图7 控制电路

图8 悬浮的蝴蝶

图9 悬浮的“苹果”

笔者做了一个以牡丹花为主题的悬浮装置，它的悬浮体是一只美丽的蝴蝶（图8），当你接通电源时，你会看到一只蝴蝶正要驻足在一朵牡丹花上，一幅多么美丽的景色！

大家可以各尽所能根据不同爱好，制作不同的悬浮体（见图9），如果你喜欢篮球，你可以让一只小的玩具篮球悬在空中。如果你喜欢航模，你可以让一架飞机悬浮在空中。当然你也可以让小鱼、小鸟悬起来。只要你肯动手、勤思考，我想你一定能从中得到许多乐趣。

太阳能电池板与蓄电池如何匹配

◎袁芬

太阳能电池板应用于电路制作时，常常与蓄电池匹配，笔者谈谈太阳能电池板与蓄电池的匹配，也就是什么样的太阳能电池板应该选择什么样的蓄电池。

选择一款合适的单晶硅/多晶硅太阳能电池板组件，首先考虑的是电池板的输出功率，我们可以举例说明。假设日照地点为江苏，如果我们选择 P_m（额定功率）为 1.4W、峰值电压 U 为 3.5V、峰值电流为 400mA 的太阳能电池板，每天平均的受光产生理想电压的时间为 7 小时。根据我们平时的设计经验，太阳能的发电效率 u 取值为 0.7，蓄电池的补偿值取 N=1.4，就可以计算出太阳能电池板一天转换的电量和所需要的蓄电池的容量。

假设你所在地的有效光照时间为h，则

太阳能电池板一天的光电转换产生的电量为：$M=P_m \times h \times u=1.4W \times 7 \times 0.7=6.86$（Wh）

日电量等于输出电流与有效光照时间的乘积，即：$C=I \times h$ (Ah)，即$C=P_m/U=1.4W \times 7/3.5V=2.8$(Ah)

由以上计算可以得出：一块3.5V/400mA的太阳能电池板，在7小时有效光照情况下每日输出电能为2.8Ah。

通常来说，太阳能电池板的额定输出电压是蓄电池电压的1.4~1.6倍，这是由蓄电池的充电效率决定的。太阳能电池给蓄电池充电时会有少许的功率波动情况，选配蓄电池的充电补偿通常定为1.4倍，比如一个额定电压为2.2V的镍氢电池应该选配太阳能电池板的电压为：2.2V×(1.4~1.6)=3.08~3.52V。由此，蓄电池应选取容量为=2.8/1.40≈2000mAh（2.0Ah）以上的。考虑到夏天太阳能电池板受光时间比较长，以及太阳能与电池的安全使用情况，蓄电池选择2500mAh比较合适。

蓄电池（即可充电电池）的种类很多，如镍镉 NI-CD、镍氢 NI-MH、铅酸蓄电池、锂电池等。镍镉与镍氢电池的单格电压为 1.2V，铅酸蓄电池单格电压为 2V，锂电池的单格电压为 3.7V。因此，比如通常 1.2V 镍镉电池，匹配峰值电压为 1.8～2V 的太阳能电池板就可以了，3.7V 的锂电池，必须用峰值电压为 5V 的太阳能电池板为其充电。至于所选蓄电池容量，需要读者根据自己对具体应用和充电时长的要求来计算决定。

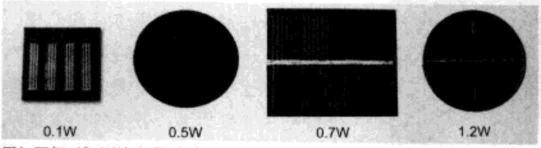


图1 环氧（0.1W与0.7W）与PET层压封装的太阳能电池板（0.5W和1.2W）

电池板和蓄电池匹配的方法掌握了，笔者还想多说一点，在选购太阳能电池板时还要注意封装，可以说，选择封装就选择了相应的应用场合。

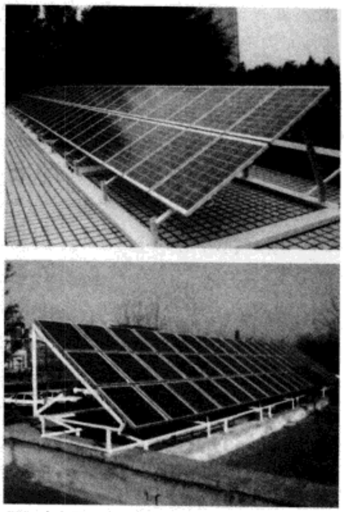


图2 玻璃层压太阳能板供电系统

太阳能电池封装形式基本有3种：环氧胶封、PET层压、玻璃层压。环氧胶封装的太阳能电池板采用环氧树脂材料为表面保护，是对激光切割后的电池片进行电压组合后的封装。PET层压封装采用PET材料为表面保护，对激光切割后的电池片进行电压分配后压制固化封装。玻璃层压封装采用钢化玻璃材料为表面保护，对激光切割后的电池片进行电压分配后压制固化封装。它们的优劣由下表可知。

环氧与PET层压封装的太阳能电池板见如图1所示，其中0.5W和1.2W的为PET封装，太阳能电池板的形状没有受封装限制，主要取决于应用场合的要求。图2为应用玻璃层压封装的太阳能电池板。对太阳能电池使用有兴趣的读者欢迎与笔者交流：gwmcu@126.com。

	优点	缺点
环氧胶封	成本相对较低，工艺简单，可应用于小功率电路，最小电流可达25mA，电压0.5V	寿命短，一般为1～2年，最长3年，只能用于小功率电路，一般在3W以下
PET层压	寿命比胶封长，可以达到3～4年，最长可以达到5～6年（根据不同地区）	只能用于小功率电路，一般在3W以下
玻璃层压	寿命长，可达10年以上，最长20～25年；强度高，采用钢化玻璃，可用于大功率场合，最大可应用到300W	工艺相对复杂，需要专门设备，原材料生产周期相对较长，功率不能做得太小（主要是小规格玻璃不能钢化，操作也不方便）

轻松做出高亮钥匙扣LED手电筒

◎吴晓燕

钥匙上挂一小手电筒当钥匙扣，既实用又美观。生活中这样的小手电筒多种多样，但大多使用一个小LED或白炽灯，亮度不高，电池型号特殊，没法更换且不耐用。随着LED技术的发展，现在小功率LED就可以获得可观的亮度，笔者自制了一款高亮钥匙扣LED手电筒，如题图所示，使用效果不错。现将制作这款手电筒的过程介绍给大家。

钥匙扣手电筒要求体积小，所以在电池方面，笔者选择了常见的AAA电池，方便更换。外壳选用成品外壳，可以在网上方便买到。外壳的材质有铝合金、不锈钢等，笔者推荐不锈钢外壳，因为更耐磨一些。

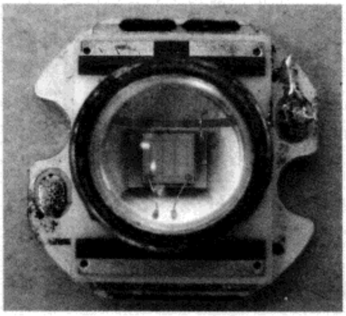


图1 手电中的LED

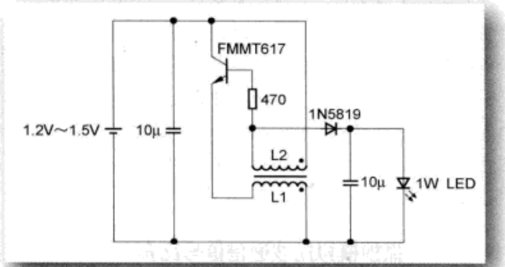


图2 驱动电路

LED选择CREE公司的XLmap 7090 XR-E系列的白光LED，工作电压3.3V左右，电流在350mA时最高，可以获得100lm的亮度（见图1）。

单节AAA电池的电压是1.5V，所以要使用升压驱动电路才能驱动LED工作。驱动电路如图2所示。

电路需要1个FMMT617三极管，1个470Ω电阻，2个10μF电容，1个肖特基二极管，1个变压器。

FMMT617为STO-32封装贴片三极管，耐压15V，工作电流3A。按照图中参数，LED端的工作电流约为400mA，电池端约为1.1A，效率为80%左右，这时LED亮度有100lm，已经非常亮了。我们也可以适当减小470Ω电阻的阻值,以获得更大的功率，但电路的效率会明显降低，电池寿命会缩短。

变压器用6mm磁环绕制，L1用直径0.23mm的漆包线双线并绕8匝，L2用直径0.18mm的漆包线双线并绕28匝，双线并绕可以减小线圈电阻和趋肤效应，绕制时尽量紧密，减小漏感。绕制好的变压器和实际驱动电路如图3所示，其大小如图4所示。

电路焊接完成后，检查有无短路、虚焊，电池端及LED的正负极不要接反，LED在装入手电时，压紧力度要适中，以保证LED底座和外壳接触良好，保证散热，又不能太用力，以免压坏LED。

图3

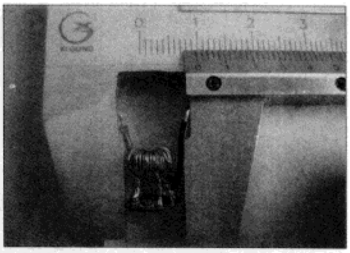


图4 驱动电路及变压器实物尺寸

欢迎青少年踊跃参与无线电通信实践活动

◎俞解民（BA4ST）

——记2009年全国青少年无线电通信锦标赛

2009年7月23日至28日，“江苏无管杯”全国青少年无线电通信锦标赛在江苏省镇江市（丹徒区）举行，来自北京、上海、江苏、浙江、广东、广西等省（市、区）近700名青少年无线电爱好者分别参加了装机（装配多普勒天线）、无线电通信知识、对讲机常规通信（近距离）、对讲机综合通信（远距离）和抓抄模拟短波通信信号等5个项目的比赛。这次比赛是由国家体育总局、教育部、中国科协、共青团中央、全国妇联等单位主办的。由江苏省无线电和定向运动协会、镇江市丹徒区政府等承办，今年已经是第15届了。

7月25日上午，锦标赛在镇江市大港中学举行了开幕式。国家体育总局、国家无线电管理局、中国无线电运动协会以及江苏省、镇江市和丹徒区的有关领导出席。开幕式上，组委会向前来参赛的各个单位赠送了由人民邮电出版社提供的《从零起步学电子》和《业余无线电入门》等科普书籍。

组委会向参赛单位赠送科普书籍

多普勒天线套件装配比赛

7月25日上午，进行了装机比赛，参赛选手在规定的时间里装配一架多普勒天线。浙江省的有些选手之前已经进行了多次练习，所以在比赛时不慌不忙，非常熟练。他们利用提供的套件，在印制电路板上插装好元器件，固定元器件，剪除多余的接线脚，一一焊接，在8分钟左右就完成了多普勒天线的安装。平时训练少甚至没有很好训练的选手就有些力不从心，手忙脚乱，到最后检测时也多数不合格。比赛结果：浙江绍兴柯桥青少年体育俱乐部队的朱烨奇（用时8'30）取得高中组金牌，初中、小学组金牌得主分别是：北京市朝阳区青少年活动中心二队的毕越（用时18'52），广州市越秀区桂花岗小学队周邦杰（用时59'04）。

比赛开幕式

无线电通信以及短波电台通信操作常识比赛

7月25日下午，无线电通信以及短波电台通信操作常识比赛在镇江大港中学进行。这项比赛的有些内容是超出普通小学生常识范围的，但是由于北京、江苏以及广东等地有不少指导老师是无线电运动爱好者，在他们的影响下，一些小学生从小就学习无线电科技知识，基础知识比较扎实，不仅完成了比赛，还取得了较好的成绩。该项目比赛高中、初中、小学三个组别的团体金牌得主分别是北京朝阳区青少年活动中心三队、广州海珠区少年宫队和江苏镇江五队。

对讲机常规（近距离）通信比赛

7月26日上午，对讲机常规（近距离）通信比赛在镇江市丹徒区实验学校举行。该项比赛要求，在规定时间里，一对选手要又快又准地相互沟通联络，并各自收发一份电报。这份电报有20个词组，有的是成语，有的是常用词语，也有的是5～6个英文字母和数字组成的业余电台呼号。经过紧张的角逐，这个项目高中、初中和小学组的团体冠军分别是：浙江绍兴意中青少年体育俱乐部队、北京市朝阳区青少年活动中心二队和江苏镇江五队。

抓抄模拟短波通信信号比赛

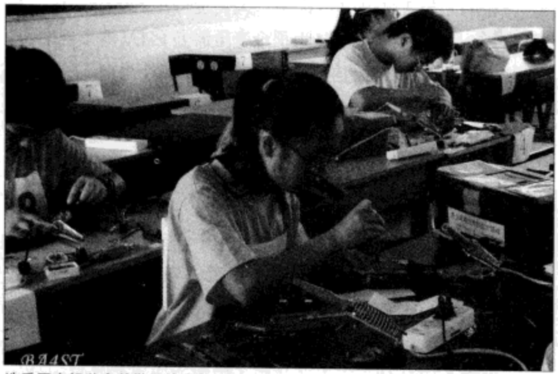
7月26日下午，抓抄模拟短波通信信号比赛在江苏镇江

大港中学进行。由竞赛组委会从日常的短波通信中录制了不少语音或者莫尔斯电码的业余电台呼号，通过在赛场附近设置的短波电台播发。参赛选手自带短波电台或短波收信机进入赛场，在规定的时间里到指定的短波频率上准确抓抄信号。这项比赛主要是考核选手平时在短波电台上通信的实际操作能力。这对于经常通过业余电台参加短波实际通信和比赛的选手来说是不难的，而如果平时很少参加短波通信活动的选手，连短波收信机也不会使用，那么通常不会有好的成绩。但是，条条大道通罗马，情况并非如此！有些学校没有短波电台，他们的选手平时很少上机联络，但他们把模拟比赛的练习信号录制下来，反复收听训练，熟能生巧，也练出了很好地听抄水平。在每场比赛中，设伏的短波电台要播发90个不同的业余电台呼号，其中有20%是莫尔斯电码信号。由于抄收莫尔斯电码难度大，为此，它的比分要比抄收语音信号高30%。在过去几年的比赛中，能够抄收莫尔斯电码的选手是凤毛麟角。今年，一些为了夺取比赛高分的选手，事先加紧训练，于是在本次比赛中能够抄收莫尔斯电码的选手也多起来。与往年相比，选手准确抄收的得分率也比前几届有所提高。最后，浙江嘉善高级中学队，北京市朝阳区青少年活动中心二队和北京市朝阳区青少年活动中心一队分别取得了这个项目高中、初中和小学组的团体冠军。

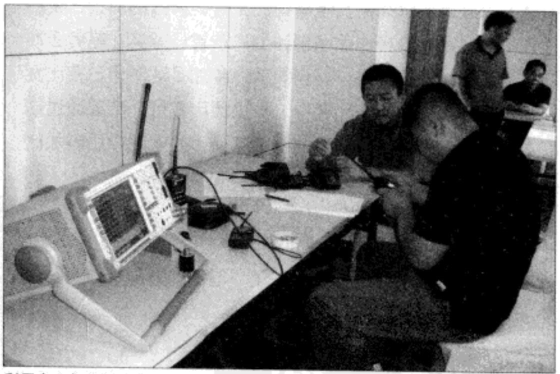
对讲机综合（远距离）通信比赛

7月27日上午，对讲机综合（远距离）通信比赛在江苏镇江实验学校和镇江信息中专两个学校之间进行。比赛方法与常规通信类似，唯一不同是通信距离增加了。这就要求选手在复杂的通信环境中，灵活运用所掌握的无线电通信知识，充分发挥对讲机的自身特点，克服困难，完成通信任务。各地各个参赛学校也想方设法提高对讲机通信效率。不少学校在对讲机的天线上大胆改革实践，大做文章。在赛场上，选手手中的对讲机不再是原来的橡皮天线，而出现了一些奇特的天线。有的是用改装后的车载天线，有的是自制的八木天线，还有的干脆把固定电台用的2m长的室外直立天线也扛到了赛场，真是“八仙过海，各显神通”。经过选手们的奋力拼搏，浙江绍兴柯桥青少年体育俱乐部队、广州市第五十二中学二队、广州市同福中路第一小学队分别取得了这个项目的高中、初中和小学组的团体冠军。

通过几天的角逐，参加比赛的每一个学校、每一名参赛者都收获不少，他们收获的不仅仅是各类奖项，更重要的是体验到了无线电通信活动的乐趣。相信在科普教育越来越得到社会重视的今天，无线电通信实践活动会得到更多老师和学生的欢迎，青少年无线电活动也会得到更大的发展。



选手正在组装多普勒天线套件


利用专业仪器测试比赛用机

比赛进行中

专心投入比赛的小选手

认真抄收信号

我的参赛手记

——参加2009年"NEC"杯全国大学生电子设计大赛有感

◎杜灿鸿

编前语：2009年"NEC电子"杯全国大学生电子设计大赛圆满结束了，该竞赛由教育部高等教育司和工业和信息化部人教司共同主办，目前已经成为中国电子信息类学科竞赛中持续时间最长、竞赛规模最大、颇具影响力的大学生学科竞赛活动。今年的比赛历时四天（9月2日—9月5日），全国923所院校、9042只队伍、27126名学生进行了激烈的角逐，争夺一等奖、二等奖以及本年度最高荣誉奖"NEC电子杯"。本届竞赛由NEC中国电子独家冠名赞助。NEC电子的节能环保产品被广泛运用于汽车、家电、工业控制等领域，此次将节能理念引入大赛，为竞赛带来了新的看点。

对于广大参赛者而言，这不仅是比赛，更是他们展示自己专业才能的精彩舞台。最重要的不是比赛结果，而是整个参赛过程为他们带来的合作、创新、实践的人生体验。本期杂志截稿时，全国各赛区的名次已基本评出，全国的评审工作正在武汉紧张进行着，我们希望参赛者都取得好成绩。本刊也会继续关注大赛的评奖结果和获奖作品。

今年的比赛适逢笔者刚升大三，而全国赛两年一届，这意味着本次全国赛是我大学四年仅有的一次机会，必须全力以赴，不留遗憾。笔者写此文时，紧张的四天三夜已过去一个星期，参赛作品刚刚评上广东省一等奖，笔者正准备赴武汉参加全国复评，同全国其他参加了这四天三夜比赛的同学一样，赛前准备和赛中过程仍历历在目，希望通过这篇文章，与大家共同分享我的比赛感受，并勉励今后参加比赛的各位同学。

赛前

全国赛的准备从暑假就开始了，笔者的方向是电源，做了一个暑假的准备。

8月27日

组委会公布了基本仪器和主要元器件清单，其中有两项特别吸引准备做电源题的人的眼球：

"工频隔离变压器：额定功率50W，3个绕组变比$n1:n2:n3$=20:10:1，电流依次为$I1$=1.5A、$I2$=3A、$I3$=0.1A

电阻器：30Ω/30W，36Ω/30W"

"很明显，今年的全国赛一定有电源题，并且，如果能把变压器解读透，大概也能猜到题目了。"看到元件清单后，我暗想。

往年的清单描述变压器都清楚地说明了功率和输入输出，而今年给出的变压器参数确很诡异，难以确定输入输出电压，连要订做都比较麻烦。

在网上与其他同好讨论了一天，也得不到统一结论。受思维定势影响，很多人都认为那个变压器是220V的市电输入，这就得出了自相矛盾的结论——50W功率和绕组电流的矛盾。在得不出其他结论之前，只能生硬地描述这个变压器：

$n1$：工频220V输入

$n2$：工频110V隔离输出

$n3$：11V辅助供电

虽然觉得这种解读矛盾重重，但也猜不出其他结论了，然后我自己猜题：制作降压式开关电源，可能会考"软开关"。

8月28日

又是大讨论的一天，清单中的隔离变压器依然是讨论的热点，仍然众说纷纭，不过终于有人说出，变压器是低压输入的！根据网友各种说法，当天晚上我得出了另一种变压器的可能性：

$n2$：AC 15V输入

$n1$：AC 30V输出

$n3$：AC 1.5V输出

这种解读就能完美地解决变压器的功率和电流的矛盾，但是如此解读，让人困惑不已：好奇怪的参数，会出什么题呢？而且AC15V的输入电压从何而来呢？

网上有多种声音，最多一种是“今年考逆变”，也有人说“这个变压器压根不是电源题目使用的”，更有人悲呼“今年不出电源题了~~~~”

显然有些网友过于偏激了，电源题肯定会有的，而且那个变压器是必定是电源题所需的。搜集了一些信息后，笔者的看法跟主流一样：“今年考逆变”；并且自己猜题：由实验室的直流稳压电源供电，SPWM逆变出AC15V，升压到30V，*n*3用来反馈；考点：输出频率可调。

现在回忆，觉得当初猜得比较接近赛题，虽然差别还是很多，但毕竟猜到了SPWM逆变。

8月29日

前两天和网友激烈的讨论和猜题，无意间已经少了两天的准备时间。我重新调整心态：猜题意义并不大。于是，我对自己说：“把该准备的模块都准备上，再准备电源必备的电压、电流测量系统，以不变应万变。”

做电源要哪些模块呢？PWM（脉冲宽度调制）模块、SPWM（正弦脉冲宽度调制）模块、功率H桥及驱动……都准备了一下，为了预防不出“功率电源”的题目，而出“精密电压、电流源”之类的题目，我还另外准备了一个13位的DAC和一个16位ADC。

笔者从来没有做过SPWM，而其他模块早就准备好了，因此笔者把剩下的时间都拿来学SPWM逆变理论，并争取时间做了一些实验。

比赛进行时——四天三夜

9月2日眨眼即到，组委会通过网络在8：00准时发题，比赛正式开始。

我很快下载了题目，今年全国赛有9道题，分别如下：

光伏并网发电模拟装置（A题）【本科组】
声音导引系统(B题)【本科组】
宽带直流放大器（C题）【本科组】
无线环境监测模拟装置（D题）【本科组】
电能收集充电器（E题）【本科组】
数字幅频均衡功率放大器（F题）【本科组】
低频功率放大器（G题）【高职高专组】
LED点阵书写显示屏（H题）【高职高专组】
模拟路灯控制系统(I题)【高职高专组】

其中有两道电源题：A题和E题。

A题考SPWM逆变，庆幸赛前几天准备了SPWM逆变理论，E题考DC-DC。相对来说，E题容易做，但是指标难以做高；A题较难，但如果熟悉SPWM逆变，应该也能做出来。

我们的目标是冲击全国一等奖，做E题可能竞争比较激烈，做A题可能相对竞争少，于是我很快把目标锁定在A题。

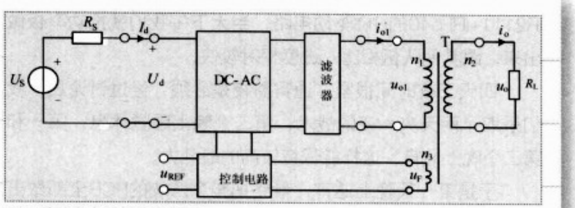


图1 并网发电模拟装置框图

任务：设计并制作一个光伏并网发电模拟装置，其结构框图如图1所示。用直流稳压电源U_S和电阻R_S模拟光伏电池，U_S=60V，R_S=30Ω~36Ω；u_{REF}为模拟电网电压的正弦参考信号，其峰峰值为2V，频率f_{REF}为45~55Hz；T为工频隔离变压器，变比为$n2:n1$=2:1、$n3:n1$=1:10，将u_F作为输出电流的反馈信号；负载电阻R_L=30~36Ω。

由题目来看，虽然是以太阳能为背景，但是涉及DC-AC，主流技术无非就是SPWM。电路要求输出电压必须和U_{REF}同频同相，从另一种角度理解，这个系统相当于一个高效率功率放大器。

电路核心是SPWM发生电路。SPWM发生电路有不少方案，可以采用硬件SG3525，也可以采用软件PWM，甚至可以采用专用芯片，更甚者，可以采用D类功放的芯片！

这几种方案，D类功放芯片是效果最好的一种方案，因为D类功放本身就是一个高效率的放大器，直接对参考电压进行功率放大后输出，效果相同。但采用D类功放来完成本题目，有点钻题目的空子，就算指标能达到，估计评审的时候评价也不会高，性价比也不高。经过考虑没有采用这种方案。

软件PWM也是逆变常用的一种手段，优点就是数控、硬件简洁、逆变输出失真度等，但在本题目中，要求同频同相，做到这一点比较麻烦。

因此，我们决定采用硬件SPWM，通过高频锯齿波和正弦波比较来获得SPWM波，这样可在硬件上实现同频逆变，输出端电压通过采样，与输入参考电压进行比较，然后把参考电压预移相，达到锁定相位的同相逆变。

考虑到性价比，我们最终大胆决定：采用分立元件进行设计和制作SPWM发生电路！

确定核心方案后，9月2日午餐时，我们就把系统的设计确定下来。午餐后迅速分工，笔者负责硬件设计和PCB，两个队友负责部分核心电路的仿真验证和在实验板上验证，确保万无一失。

鉴于以往做功率电路的经验，最好把功率电路和信号电路分开为两个板，这样可以减少功率电路对信号电路的影响，调试的时候也方便。功率电路比较简单，是

IR2111+IRF540的H桥驱动电路，当天下午我们就把功率板做出来，跟其他队伍相比，进度相对较快。

四天三夜时间很紧，通宵熬夜是必须，经过讨论后，我们采取了两天夹一夜的战术，第二个晚上睡觉休息，第一和第三个晚上通宵，这样能保持较高的战斗力。

于是第一天晚上通宵，最终把整个系统的PCB全部做出来，到了第二天，系统的硬件已经全部做完了。

贴几张图：

这个东西挺有纪念价值的~~~

笔者正在画PCB，混乱的桌面，凌乱地放着几张电路板和一些仪器，左下角有一张电路板，上面有散热器和一个黄色的电感，那是一个下午的成果——功率H桥板。虽然灯火通明，但请读者注意一下拍照时间哦——09-9-03 04:12，室外一片宁静，我们正在通宵战斗！

尾声

比赛的时间飞快，总的来说，我们队伍的进度还算正常，由于采用分立元件进行核心电路的制作，因此那部分电路调制了一天一夜。不过有利有弊，也因为是分立元件的设计，所以一旦出现问题，我们很快就找到问题的根源。

四天三夜虽然紧迫，但是，如果充分发挥团队合作，坚持不懈，做出题目还是不难的。在比赛的过程中，主要碰到了几个问题：

1. 系统供电问题

因为今年考低功耗设计，所以在设计系统的供电电路时，采用了开关电源进行供电，但是，开关电源的电压尖峰比较大，虽然经过比较好的滤波措施，仍然可以达到几十mv的数量级，这些尖峰影响了三角波发生电路，导致进行电压比较的时候总是发生误触发，电路无法正常工作。

后来折中了一下，采用了工频变压器+78XX系列进行稳压供电，便不再出这种问题。

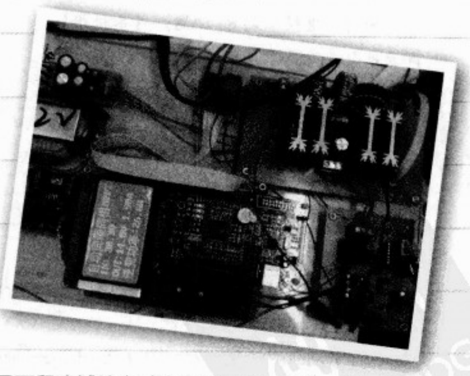
2. 电压比较器问题

锯齿波和正弦波进行电压比较，就可以获得SPWM波。早期设计时忽略了比较器的速度问题，直接采用了TL084中的一个运放用作比较器，结果发现效果不好，表现出来的情况就是：正弦波过零失真，因为过零点电压比较小，比较器效果不理想，导致无法触发比较器的翻转。

后来改用LM311后，问题基本解决，但是过零点的失真仍然存在，不过相对小了很多。现在想来，只要SPWM载波频率比较高（100kHz左右），硬件SPWM应该都存在这种问题，这是因为比较器的速度不够。

当然还出现了其他问题，不过也都慢慢解决了。最后我们得出了经验：出现问题时千万不可急躁，要冷静思考问题的根源，然后对症下药，问题便可迎刃而解。

调试过程中拍了张作品“靓照”：



终于不留遗憾地走过这四天三夜，回头一想，那四天三夜似乎就只有一瞬间，但不管胜败，我相信它都成为一笔宝贵的财富留在每一个参赛者的心中。

关于线圈电感量的计算问题，对于初学者而言显得比较抽象和繁琐。有读者发邮件到编辑部，问谐振电路电感线圈的电感量怎么计算的，比如用多大直径的漆包线，多大直径的骨架，要绕多少圈，会产生多大的电感量。编辑部将问题转发给了张晓东老师，张老师根据自己多年实践积累的经验，并参阅有关资料，为大家提供了简化的方法，对电感量进行估算，希望对读者有所帮助！

线圈电感量的简单计算

◎张晓东

业余条件下线圈电感量的计算不易做到很准确，加上自己动手绕制的线圈存在着所用材料的差异、尺寸的误差等原因，做出来的线圈实际电感量往往与要求（计算值）电感量有一定的出入。为了减少盲目性，进行一些简单计算还是很有必要的。

常见线圈有空芯单层线圈、空芯多层线圈（包括蜂房式线圈）、带磁芯的各种线圈。空芯线圈是指以绝缘材料为骨架，或直接以空气作为介质（无骨架）的线圈。为了增加电感量和提高线圈的品质因数Q值，通常都在线圈中加入铁氧体磁芯。常见线圈电感量的简便计算方法如下：

单层线圈电感量的计算

图1是一个单层线圈。图中标出了线圈的主要尺寸，其中：l 表示示线圈的长度，D表示线圈的直径，τ 表示线匝间的匝距，do表示导线直径。

线圈的电感量计算公式即为：

$$L=L_0\times W^2\times D\times 10^{-3}$$

式中，L 表示线圈的电感量，单位为 μH；W 表示线圈圈数；D 表示线圈的直径，单位为 cm；L_0 表示单层线圈的修正系数，它是与线圈的长度和直径有关的一个量，可由图 2 所示的曲线查得。

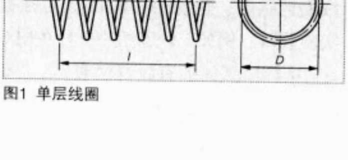


图1 单层线圈

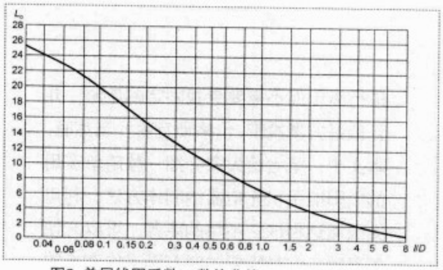


图2 单层线圈系数L0数值曲线

多层线圈电感量的计算

图3是一个多层线圈，其主要尺寸图中已经标出。其中线圈的外径为D，内径为D_0，绕组的长度为 l，绕组的径向厚度为t，即$t=(D-D_0)\div 2$。

多层线圈的电感量与线圈绕法无关，因此蜂房式线圈的电感值也可按多层线圈的计算法计算，它的计算公式为：

$$L=L_0\times W^2\times D\times 10^{-3}$$

式中，L表示线圈的电感量，单位为μH；W表示线圈圈数。从形式上来看，该式和单层线圈电感量计算公式完全一样，但是该式中L_0所表示的具体内容并不一样。在多层线圈中，L_0值不仅与 l/D的比值有关，而且也与t/D比值有关。因此式中L_0值应通过图4所示的曲线查出。同时注意，公式中的D是指绕组的外径，单位为cm。

带磁芯的线圈电感量计算

带有磁芯的线圈，其电感量的计算方法和磁芯型式有关，磁芯型式不同，计算方法也不同。因此计算具有磁芯的电感线圈就比较复杂，同时计算值常与实际值有较大的误差。为此，业余条件下可抛弃各种磁芯线圈的电感量计算公式，而采用一种适合各种磁芯材料的简便计算方法。

根据推导，当线圈的尺寸，如长度、直径以及采用的磁芯材料在选定以后，则其相应参数就可以认为是一个确定值，即可看成常数。此时线圈的电感值仅和其绕组的匝数平方成正比。因此可以写出以下电感量计算公式：

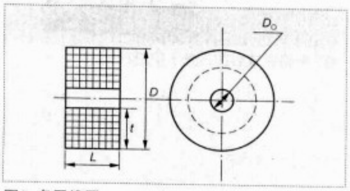


图3 多层线圈

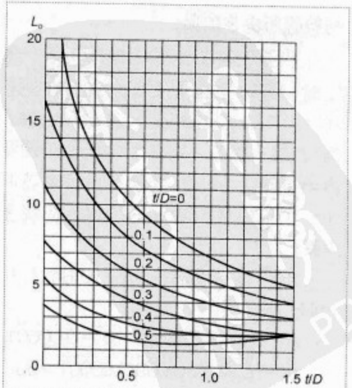


图4 多层线圈系数L_0的数值曲线

简易太阳能手机充电器的制作

随时随地满足手机充电需求

◎耿伟　袁芬

相信很多人都经历过在关键时刻手机突然断电的“痛苦”，尤其对于在户外的人，即使充电器伸手可及，也因为一时无法找到电源而一筹莫展。能不能有一款充电器，可以时刻对手机进行充电而不需要寻找固定的电源，并且最好方便携带，价格便宜呢？当然有。本文中，笔者给大家介绍一款简单实用的太阳能手机充电器的制作方法。利用太阳能这种取之不尽的能源，可以方便免费地在你最需要的时刻满足你充电的需求。如果能够亲手做一款太阳能手机充电器，那么在享受便捷充电的同时，是不是还能体验到爱好者 DIY 的成就感呢？将亲手制作的充电器送给亲朋好友，相信也是一份非常棒的礼物。

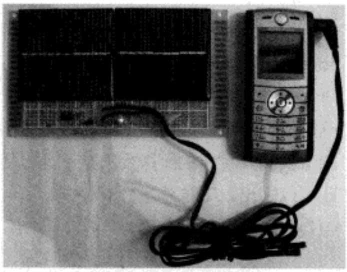


图1 电路完成后在日光下使用

大家先看一下笔者制作好的成品。当然，读者可以根据自己的审美把充电器的外观“包装”得精美些（见图 1）。

在制作之前首先我们要准备一下材料，一根可以和您手机接口相匹配的接线（你也可以同时准备多种插口的接线便于在不同手机上使用）、一块洞洞板，导线若干（具体见附表的材料清单）。导线、洞洞板都可以在电子市场买到。

制作用到的面包板和太阳能电池板见图2。

首先根据我们的具体需要选择合适大小的太阳能板，太阳能板的选择方法可以参见本刊第9期文章《太阳能电池板与蓄电池如何匹配》一文。本文中，笔者设计的电路适合为3.7V

$L=K\times N^2$

式中，N为线圈的匝数，K为一系数，它是由已确定的线圈尺寸及磁芯材料等所决定的量。

当要绕制的线圈电感量为某一值L_m时，可以先在骨架（或直接在磁芯上）缠绕10圈（或N_0圈），用电感测试仪（或带电感量测试功能的数字万用表）测出其电感量为L_0，再用公式$K=L_0/N_0^2$求得K值，由此根据L_m、K值可求出线圈应绕的圈数:

$N=\sqrt{L_m/K}$

例1：某一磁芯，在其上面缠绕10圈测得电感量为1mH，试求利用该磁芯制作一个电感量为9mH的线圈，应绕多少圈?

解：根据题意在$N_0=10$时，$L_0=$ 1mH。则：

$K=L_0/N_0^2=0.001\div10^2=0.00001$

$N=\sqrt{L_m/K}=\sqrt{0.009/0.00001}=30$

答：应绕30圈。

例2：设在例1所给的磁芯上，有一个150匝的线圈，求其电感值为多大?

解：根据例1求得$K=0.00001$，可得

$L=K\times N^2=0.00001\times150^2=0.225\text{H}$

答：电感量为225mH。

应用上述方法计算电感值，方法简单，因此被广泛应用。另外，对于带有磁芯的线圈，其电感量也可采用这样的简便方法：可首先利用前面空芯线圈电感量的计算方法，计算出没有磁芯时的电感量，然后，把计算出的空芯线圈电感量的数值乘上该磁芯材料的有效导磁系数μ_{eff}，就可得到所求电感量。也就是说，在没有达到磁饱和的情况下，只要把计算出的空芯线圈电感量的数值乘上该磁芯材料的有效导磁系数μ_{eff}，就可得到带磁芯的线圈电感量。有效导磁率μ_{eff}，可根据实验获得。例如，收音机中波段的MX-400锰锌铁氧体的有效导磁率μ_{eff}，实际测得为2.2~2.3。

附表 元件清单

序号	名称	材料及规格	数量	供应商
1	太阳能电池板	额定功率：5V/100mA输出，外形尺寸：65mm×65mm,多晶硅/单晶硅材料	2	电子市场或网上购买
2	肖特基二极管	肖特基二极管：IN5819,DIODE0.4封装	1	电子市场有售
3	电解电容器	100μF/16V,外形尺寸：6mm×7mm,圆柱状	1	电子市场有售
4	电阻	200Ω 1/4W,AXIAL0.4封装 误差5%	1	电子市场有售
5	发光二极管	¢5mm,草帽封装,亮度700MCD，发绿LED	1	电子市场有售
6	输出接口线	根据手机接口配线	1	到维修店买充电器，剪断即可取用
7	万能PCB	90 mm×150mm,单面板，常规94V0板材	1	电子市场有售
8	热熔胶	常规透明	5g	电子市场有售

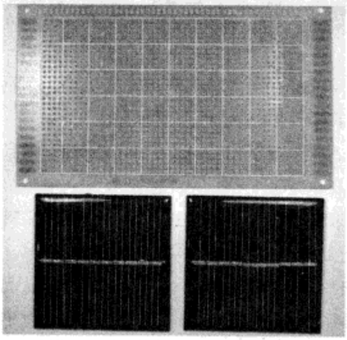


图2 制作用到的洞洞板和太阳能电池板

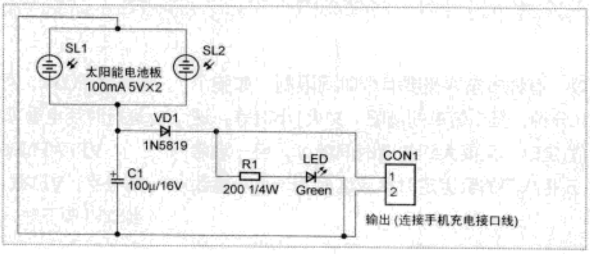


图3 太阳能手机充电器电路原理图

/1000mA锂电池充电，具体电路原理图见图3。

电路比较简单，易于读者制作，笔者直接将元件焊接在洞洞板上制作的。笔者将剪断后的普通手机充电器（见图4）连线一端的正负极与电路输出端直接连接，然后用热熔胶将其固定在洞洞板上，制作即完成。笔者在暖色光源下，用万用表测试输出电压，测试结果如图5所示。读者可根据自己手机的型号设计合适的接口，笔者用该充电器为摩托罗拉手机3.7V/100mA的锂电池充电，共花了7个小时。

图4 线充电器

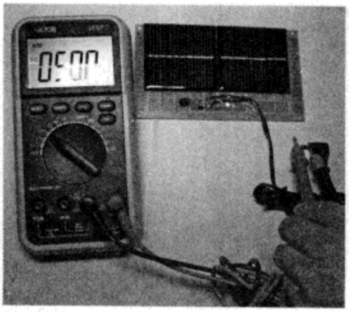


图5 测试结果

图6 用暖色调台灯为手机充电

制作注意事项

太阳能板的选择非常重要，如果过大或过小都会对手机的充电效果有一定影响。所以一定要选择合适大小尺寸的太阳能板，在焊接电路板的时候一定要注意工艺和绝缘性方面的要求，如果对太阳能板的选择读者还有疑问，可以参考上期的文章，或给笔者邮箱发E-mail（gwmcu@126.com），笔者会尽可能为读者解答。

这款制作成功的充电器不仅仅可以在阳光下充电，也可以在暖色调的台灯下充电，把太阳能板放置在台灯下，你会惊喜地发现，此时的手机也会处于充电状态，见图6。

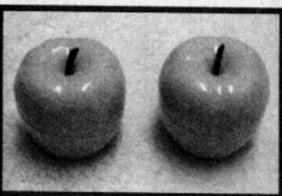
该手机充电器适合全系列手机，只要读者配备相应的接口线即可。读者也可以根据此设计，制作出合适的太阳能数码相机充电器等。

也许你在对太阳能板利用的同时也会有更多新的创意，欢迎来信和笔者一起探讨。相信这款简单方便的太阳能手机充电器会给你的生活带来很大的快乐。

洞洞板上的小电路

简易厨房定时器

◎温正伟

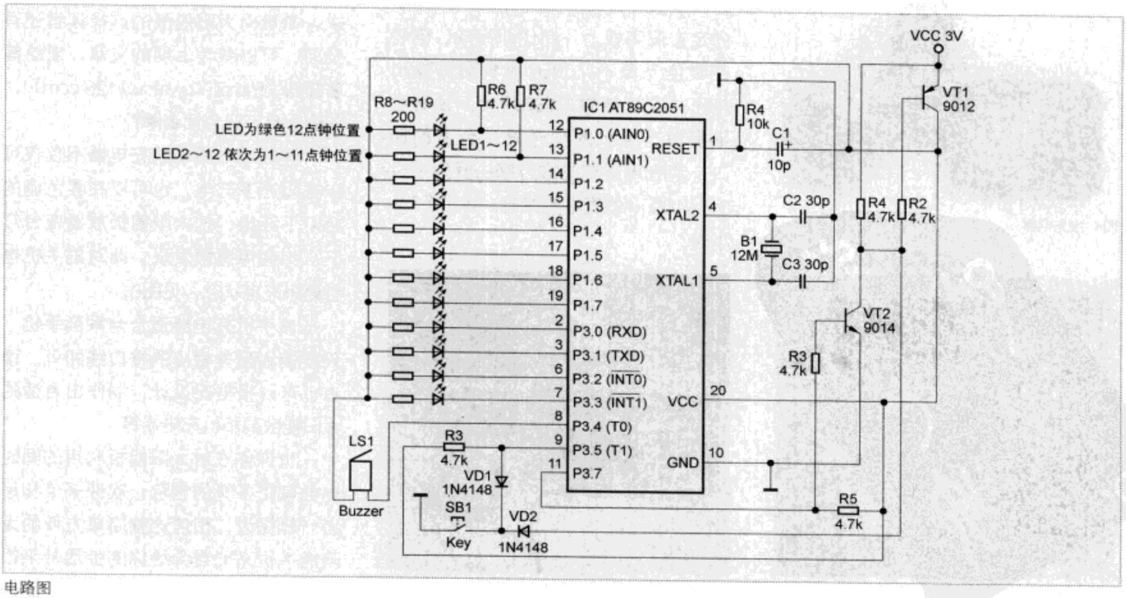


在家经常做饭，有许多东西需要有个时间限制，如腌个肉吧，十几分钟；煲个简单的汤吧，文火1小时等，这些都不需要精确的定时，只要大约知道时间就可，但一定需要提醒，市场上五花八门的厨房定时器应运而生，小巧精致而且实用。

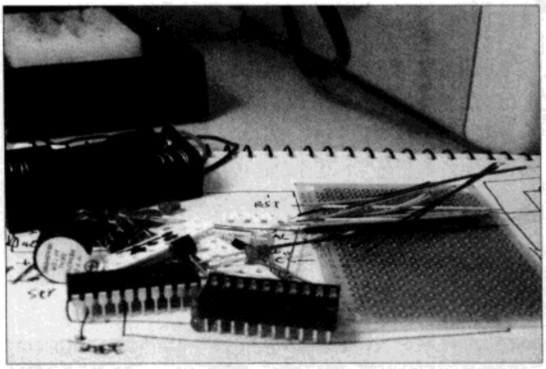
作为电子爱好者，笔者热衷制作，用单片机做一个简单有趣的厨房定时器，既解决了实际的问题，又满足了爱好实践的愿望，于是就有了本文的这个制作。这个电路十分简单，可以使用洞洞板直接焊接电路，制作用不了半天，无需调节，非常适合初学者练手制作。

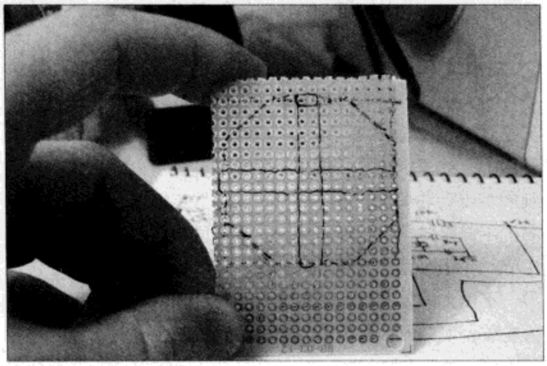
该制作以5分钟为一个计时单位，最多计时1小时，3V电池做电源，有蜂鸣器报警，工作时功耗为6mA左右(使用AT89C2051)，可以使用3V钮扣电池，具有自动关机功能，不运行时耗电量可以忽略不计，单键操作，简单方便。

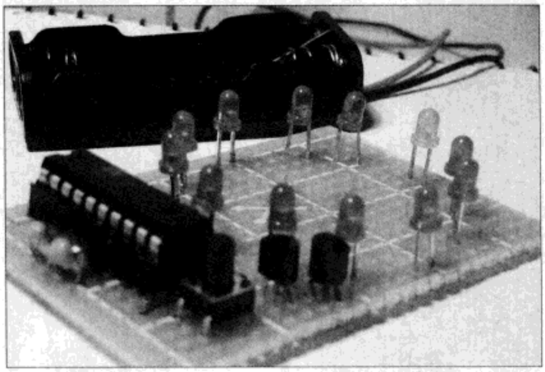
VT1为PNP的9012，当电路不工作时VT1的B极由R4得到高电平，VT1截止，AT89C2051无法从VT1的E极得到电源。当SW1按下时，VT1的B极通过VD2和SB1接地，由高电平转为低电平，VT1导通。此时AT89C2051得电，同时通过C1，R4复位。复位成功后P3.7升为高电平，使得VT2导通，从而使VT1的B极保持低电平状态，这时就算松开SB1，VT1也不会截止而导致MCU失电。当AT89C2051有关机指令时，P3.7引脚会被拉低，此时VT2截止，VT1的B极电压因此升高，VT1也截止，AT89C2051失电。SB1起到了开关电源和设置的作用。在AT89C2051没有得电时，SB1和VD2组成电源启动电

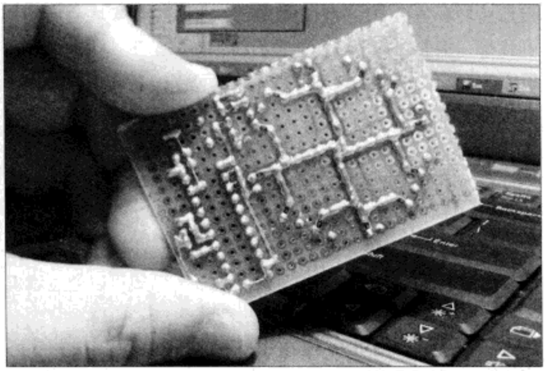


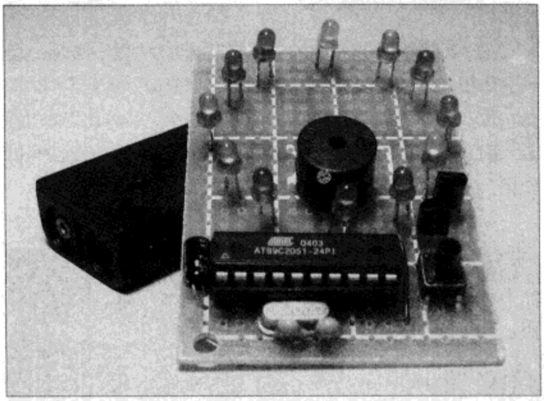
电路图


各种元件


简单规划元件排布和走线


焊接正面图


焊接背面图



制作完成后的定时器

路，AT89C2051得电后SB1和VD1组成功能键电路。VD1、VD2的作用是防止在3V 的V_{CC}接通时的瞬间电路自动开机。R8~R19是LED限流电阻。R6~R7是针对P1.0、P1.1增加的上拉电阻。C1复位电容可以选择4.7~22μF的电解电容。如果不需要自动断电功能，可以去掉VT1、VT2、R2~R5、VD1、VD2，VD2去掉后换成导线，3V 的V_{CC}加装一电源开关连到AT89C2051的V_{CC}引脚。本文所附源代码为C语言编写，读者可以到本刊网站（www.radio.com.cn）上下载，根据需要自行修改原文件的功能。更新的源码和演示视频可以在以下地址下载、观看（http://www.cdle.net/web/alldata/CDLE/cdle090001.htm）。\本文的单片机代码使用了时间触发任务的编程方式，使用单片机上的定时器以20ms为时标，在每个时标到达时触发一次计时，同时也用作按键读取和LED显示。这样，不但可以使单片机代码准确地实现计时功能，同时也使其更简洁易读且更方便修改、扩展功能。

本制作只有1个按钮，12个LED代表时钟的12个数字，使用方法极其简单，装上电池后电路处于关闭状态。按键一次后，电源开启，再按时则进行定时设置，每按一次，LED则跳到下一个LED，定时值加5min，停止按键几秒后，会自动进入计时状态，LED会以跑马灯的形式指示当前计时及目标计时等，计时完成后，蜂鸣器响20s后自动断电。在计数和蜂鸣的时候，再次按键则会停止工作并断电。Ⓦ

2009深圳电子展　展会报道

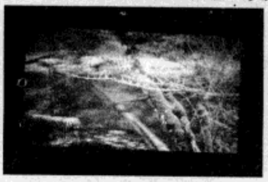
◎杜洋

深圳是中国改革开放的窗口，在这里可以让中国与世界同步、让经济与国际看齐。2009年4月9～11日这几天，这扇窗口里挤满了人，大家都是来参加第73届中国电子展的，在深圳国际会展中心里参展商和观众朋友们组成的观展潮流满坑满谷、好不热闹。《无线电》杂志作为国内知名的平面媒体，自然不可或缺。我和同事尹飞来到深圳会展中心，除了布置《无线电》的展台还要出去做展会的采访报导，不然大家就看不到这篇文章了。我和尹飞说好了，一个人在展台发杂志，另一个人出去采访。不由分说，我背起相机兴冲冲融入人群之中。

9号上午的开幕式上，各位业内的专业学者就目前的经济形势发表了指导性演讲，即在经济不利之时要看到新的有利优势，把握内需市场、注重科技创新。至于演讲的内容和听众的互动交流我们按下不表，话分两头，直奔展会现场。这次参展的产品可谓五花八门，有电子元器件、仪器仪表、工具、芯片、消费类电子产品、机械产品等。随着人潮涌动，我大概逛了一圈就花了一个多小时的时间，拍了许多照片，也学了不少东西。以后如果哪位朋友有机会拿到入场券可千万别错过，那些没有机会参加的朋友也不要后悔，因为《无线电》正在为您真实再现展会现场，希望可以通过我们的展会报导让您有一种身临其境的感觉。

体验立体视觉

说到身临其境，当然少不了立体显示技术。这次展会上，某厂商就强力推出了旗下的立体视觉产品，吸引了N多观众驻足体验。所谓立体显示技术，就是利用人的两只眼睛观看不同位置拍摄的二维图像，再通过大脑内部合成而呈现出如真实世界一样的层次感、立体感，而这次参展商给了我们各种不同方式实现的立体视觉方案。首先我们来看看立体电影技术，展台的一大块区域被设计成电影院的黑色棚体，下边用投影机投射出分别给左右眼的立体图像。观众只要戴上特制的立体眼镜，就可以在银幕上看到立体的画面了。我抢着体验了一下，银幕里的飞机一不小心就会飞到你眼前哦，很有趣、很刺激！而摘下眼镜后再看银幕则只是模糊不清又有重影的图像了。目前这种立体电影技术已经应用在各大电影院，厂商则希望自己的产品可以让立体技术走入家庭影院。



如果说戴着眼镜太麻烦，不适合家用的话，则请不要担心，厂商早就想您之所想了。在“立体电影院”旁边的展台上普普通通地摆着一台液晶电视机，这年头液晶电视机已经不是什么新鲜货色了，但是这台液晶电视可不同，它可以直接显示立体图像，不需要戴眼镜。您只需要站在它的正前方3~5m处，便可以看到一些文字离开了屏幕，漂浮在前面。一旦此项技术普及到家庭，将会是电视技术的又一次革命，T台上的模特将真的从电视里走出来了。

当然了，并不是普通的电视节目就可以在立体电视上呈现立体图像，因为立体视觉需要让两只眼睛分别看到不同的图像，所以摄像机也是需要特制的双镜头摄录。所以让立体电视走入家庭是一项浩大的工程，需要很长的路要走。但至少可以预见，立体显示技术是未来显示技术的发展趋势之一。

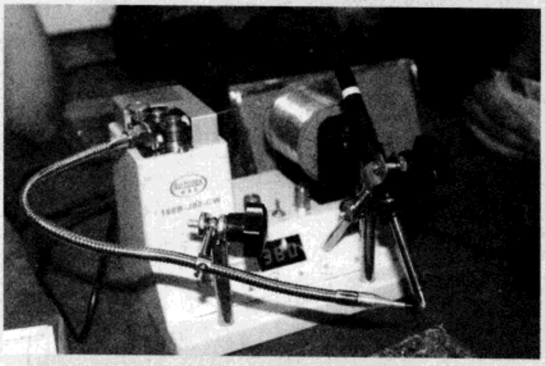
对于电子爱好者来说，也并不是只能等待知识渊博的研

自动焊接机器人

一个漂亮的转身，我来到了1号展馆，这里阵列着电子行业中工具类的产品，比如万用表、示波器、电烙铁、螺丝刀之类的。这里就有大家喜欢的PCB雕刻机和自动焊接机器人，PCB雕刻机可以制作各式各样的单面PCB板，适合开发阶段的样板制作。而另一款焊接机器人则是武艺高强，它可以在一个平台上自动完成电路板的焊接任务，它由一台微电脑主机控制，使用者需要事先将各焊接点的行列坐标输入进去，之后机械手臂就会在焊点处自动上锡、焊接，动作很快，而且焊出来的点几乎一样，这款产品适合单面直插式PCB板的机械焊接。有趣的是，这个小机器人还会时不时的把自己烙铁头上的锡渣清一清，设计得周到、细致。

手工焊接新感觉

除了高端的自动焊接机器人，还有一款可以解决焊接时手忙脚乱问题的产品。这就是带有自动出锡功能的电焊台。以前我们焊东西时总是右手拿烙铁、左手拿锡丝，如果遇上元器件要靠手按住的情况就麻烦了，用夹子、用胶纸都太笨拙，恨不得再长第三只手出来。这款焊接台是将出锡管和烙铁合在一起的，在手柄上有一个按钮，按下时出锡管就会像自动铅笔一样，吐出一条锡丝，直接加在了烙铁头上。锡丝在供给时被打了一排透气孔，让里面的助焊济露出来，在锡丝遇见烙铁头的高温时就不会产生助焊剂飞溅的现象。有了它之后我们就可以右手拿烙铁，左手拿元器件了，轻轻按下按钮就大功告成了，过程简单又快速。工作人员介绍，这款产品是他们公司的专利技术，目前刚刚推出市场，相信不久之后大家就可以在电子市场工具类产品的柜台上看到它们了。



发工程师来实现我们立体视觉体验的梦想，有一种简单的方式同样可以实现。该厂商还提供了最简单易行的立体成像方法，就是用立体照像机和立体观察镜来实现立体视觉体验。首先，我们需要使用双镜头的立体照相机拍摄风景，风景的画面将会分别成像在两张底片上。洗出的两张照片分别放在观察镜上，每一个底片对应一只眼睛，当双眼同时观察时，立体效果就出来了。有兴趣的朋友可以自己用数码照相机DIY一下，又新奇又好玩。

总结

在全球经济危机的影响下，本届展会较比去年冷淡了一些，厂商们也希望可以通过本届展会接到新的客户，让运营情况好转起来。所以各大厂商还是投入了资金在新技术、新产品上面，一方面是应对经济危机，另一方面也是为经济回暖之后的市场竞争做准备。从电子爱好者的角度来看，本届展会还是值得回味的，一些好玩的产品带来了新的体验，还有创新的技术和设计给我们新的启发。

拖着沉重的脚步，我回到了《无线电》的展台，尹飞还在那里免费发放着杂志，他满头是汗、手忙脚乱，真是辛苦了。后来我们遇见了几位多年的老读者，他们对《无线电》充满了热情和感激，激动地向我们讲述了他们与《无线电》的真情故事，又为现在的《无线电》提出意见和建议。我们虽然不能一一列出这些人和事，但是《无线电》始终心系读者，不断倾听读者的声音，我们会尽最大努力，认真、负责地把《无线电》办好，因为我们都有着对无线电爱好的一颗热切之心。

展会报道

◎本刊记者 尹飞

第74届中国电子展拾萃

2009年11月11日-13日，第74届中国电子展暨2009年亚洲电子展在上海新国际博览中心如期举行，本次展览有哪些新技术、新产品亮相呢？笔者这就为你带来现场的报道。

备受关注的3D显示技术和产品

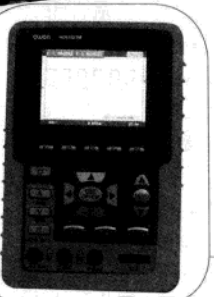
走进W1号馆，3D产品展示区吸引了很多观众驻足观看，深圳掌网立体时代视讯技术有限公司带来了只有手掌大小的立体多媒体播放机、立体便携移动电视、立体照相机和摄像机，囊括了从3D影像制作到显示的完整产品线。长虹公司则展示了型号为LT4619P的3DTV，无需佩戴任何眼镜即可看到3D效果。不过给笔者留下深刻印象的是美国高平（KOPIN）公司的头戴式3D眼镜，它采用双目显示模组，用两个0.24英寸（4.8mm×3.6mm）的微型液晶屏分别显示左、右眼视频，立体效果十分出色。

焊接利器——可调恒温热风枪

在电子工具的专业制造厂商——广州黄花电子工具有限公司的展台，重点推出的是FN、FZ、FW等系列的可调恒温热风枪，其外观精致美观，握在手上十分舒服，加上多项专利技术，实现了温度和风量的无级调节，送风温度精确控制在±2℃，最大风速可达18m/s。温度范围从100～600℃均有，适合各种无火高温加热工作场合，如熔锡、除漆、热缩管加温、干燥、解冻、收缩包装、塑料软化及焊接、装修工作等。

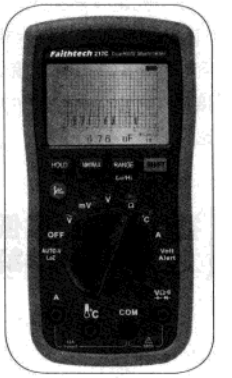
防水开关电源

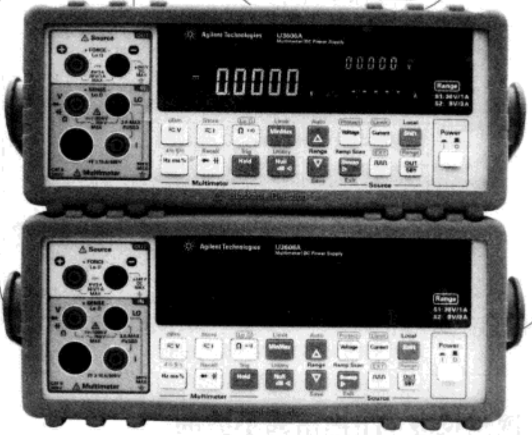
一串泡在水中的发光LED引来了观众的好奇，原来是上海衡孚开关电源推出的大功率LED驱动防水电源。据了解，该公司为2008年北京奥运会开幕式“画轴”LED显示屏的电源供应商，除了别出心裁，产品质量也是经得起考验的。

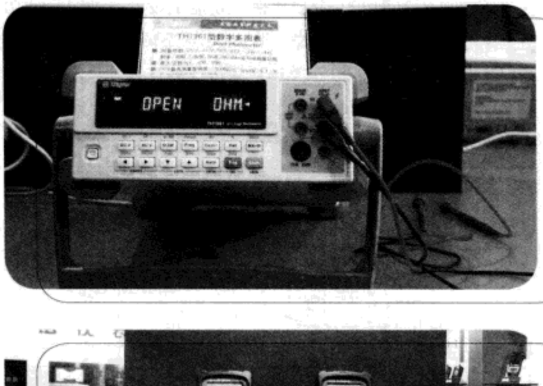


彩屏万用表

迎面走来的宣传队伍举着“世界第一款彩屏万用表”的标语，将观众的目光转向了深圳市费思泰克科技有限公司的展台，标语上说的是该公司的宽频响真有效值万用表FT217C，这款万用表除了采用彩色LCD显示读数，最大的特色就是具有“趋势绘图”功能，可将一段时间内测试和记录的数据在彩色屏幕上描绘成一条图形轨迹，这样用户就可以方便地观测到信号的动态变化，如浪涌、漂移和短时冲脉等。虽然这款万用表的售价在1000元以上，但和同样具有趋势绘图功能的其他高档万用表动辄1万多元的价格相比，还是物有所值的。





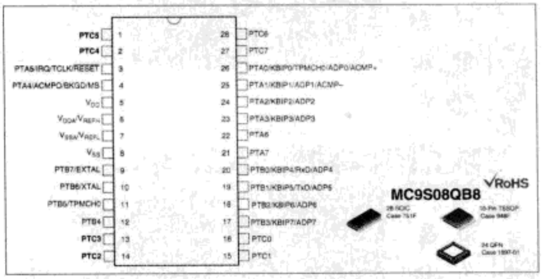


产品丰富的仪器仪表

本次展会的W3馆是仪器仪表展区，来自国内外的生产厂商均带来了他们的主打产品。厦门利利普公司的HDS1021M数字示波表，以其经济节能的特色，贴近实际应用的性能，赢得了用户的喜爱。深圳市胜利高仪器有限公司展出的VICTOR 4000双钳数字相位伏安表是一款专为现场测试的多功能仪表，可以在被测回路不开路的情况下直接测量交流电压和交流电流，测量两电压间、两电流间和电压电流间的相位，其高精度、高稳定、低功耗、使用方便等特点吸引了众多的观众。江苏绿扬电子仪器集团有限公司则针对职教市场推出了适合电子实训基地使用的系列产品。深圳华谊仪表有限公司展出的MS8200系列万用表，标示着MASTECH品牌向高端又跨出了一大步。常州市同惠电子有限公司的TH1961型6位半数字多用表采用高速低噪声的26位ADC，具备很好的线性度和低噪声特性，非常值得关注。

飞思卡尔半导体新推MC9S08QB8/4系列S08微控制器

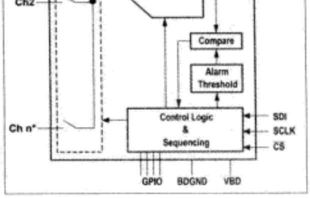
飞思卡尔半导体推出MC9S08QB8/4（QB8）系列微控制器，这是S08系列中最低端的，其超低功耗的设计适用于各种不同的功率敏感型嵌入式应用。QB8器件的功耗只有1.8V，但仍能够以20MHz的频率运行，并且具有多种能效功能，如两种超低功率停止模式（电流为250nA）、先进的低功率运行和等待模式、6μs唤醒时间以及超低功率外部振荡器和时钟门控寄存器，非常适合以电池为电源的应用设计，如电动玩具、各种探测器及远程控制应用。QB8 MCU具有高达8KB闪存、1个带有12位解析度的8通道模数转换器（ADC）、1个8位模数定时器、1个16位定时器/脉宽调制器、1个实时计数器、1个模拟比较器和1个8通道键盘中断模块。



QB8的SIOC封装引脚定义

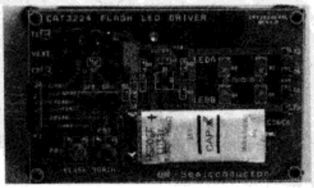
德州仪器 (TI)推出超小型的低功耗模数转换器ADS795X系列

德州仪器 (TI) 宣布推出超小型的 ADS795X系列低功耗、高精度的逐次逼近型（SAR）模数转换器。该系列器件不仅可针对高密度应用实现优异的线性与 AC 性能，而且优化后还能最大限度地提升诸如手持式医疗仪器、可编程逻辑控制器以及数字电源等电池供电及低电压应用的性能。ADS795X产品系列高度集成了众多组件，如 GPIO、可编程告警阈值、板上定序器以及 SPI 兼容接口等，能最大限度地降低板级空间要求，并简化与主机设备的连接及相关软件。其输入通道数从4～16通道不等，可以根据应用要求灵活选择。



安森美半导体推出闪光驱动器CAT3224

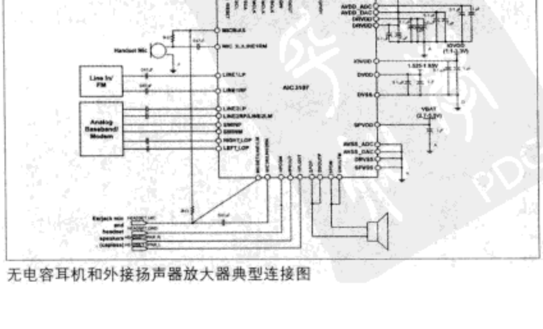
安森美半导体推出首款4A超级电容发光二极管闪光驱动器CAT3224。这款器件具有精确控制LED闪光充电/放电所需的全部功能，支持3项关键功能：精密的超级电容充电控制、电流放电至LED闪光的管理以及为LED手电筒模式提供恒流。这些功能符合新兴的高强度LED闪光要求，主要应用于高像素的照相手机和相机。这种高集成度器件，包括能够接受达4A电流的电源开关，以及为双单元超级电容提供充电功能。 CAT3224易于使用，具有3种完全独立的工作模式：充电、闪光和手电筒。其超级电容技术具有高峰值电流优势，结合CAT3224简单的并行逻辑接口，可以使得该器件成为采用LED替代氙气灯应用的极佳选择。



安森美半导体提供的CAT3224评估电路板

德州仪器新推低功耗立体声音频编解码器 TLV320AIC3107

德州仪器 (TI) 推出一款低功耗立体声音频编解码器——TLV320AIC3107。此款编解码器主要针对便携式电子产品所设计，在采用3.3V电源进行48kHz立体声播放时，功耗可以低至15mW，可应用于手机、导航设备以及媒体播放器等便携式产品，以实现 CD 音质级播放功能的设计，同时其低功耗还可以延长电池使用寿命。TLV320AIC3107还集成了立体声耳机放大器与单声道 D 类扬声器放大器，封装尺寸可以小到3.5mm×3mm的WCSP封装。内部的单声道D类扬声器放大器能以 1W 的功率驱动 8Ω负载。



无电容耳机和外接扬声器放大器典型连接图

通用技术选修课程在普通高中全面展开 北京八中率先举办教师电视机组装培训

通用技术选修课程目前陆续在全国普通高中全面展开。北京八中台峰校长采取积极的态度面对新课程，尤其对技术类课程格外关注，并给予了大力支持。为了给即将开设的通用技术选修模块“电子控制技术”培养骨干教师，北京八中特级教师张军在校长的支持下利用业余时间开设了免费的电视机组装培训班，通过组装电视机的实践活动，提高教师的动手能力和电子技术的理论水平。参加此项培训的通用技术教师报名踊跃，图为正在认真学习电视机组装的部分老师。电子控制技术教师实践水平的不断提高，为电子控制技术课程教学质量的提升提供了保证。

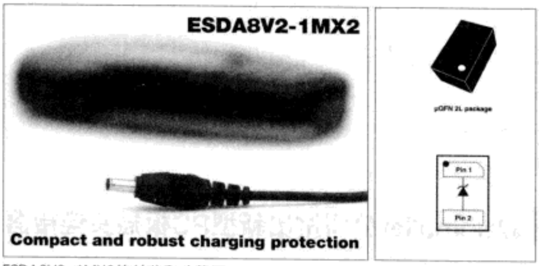
《废弃电器电子产品回收处理管理条例》正式发布

2009年3月初，《废弃电器电子产品回收处理管理条例》正式发布，我国形成了一套完善的废旧电器电子产品回收和处理体系，鼓励电子产品生产者回收“电子垃圾”，条例将自2011年1月1日起施行。为了方便废弃电器电子产品的回收处理，国家鼓励电器电子产品的生产者自行或者委托销售者、维修机构、售后服务机构等回收废弃电器电子产品。国家对废弃电器电子产品处理实行资格许可制度。对于那些没有取得“电子垃圾”处理资格、擅自从事处理活动的，可由县级以上人民政府环境保护主管部门责令停业、关闭，没收违法所得，并处5万元以上、50万元以下的罚款。普通消费者最关心的应该是如何方便地处置自己闲置的电子产品，让其得到新的价值，从而也对环保做一点贡献。

全球主要手机制造商要生产统一型号的手机充电器

全球主要手机制造商2009年2月17日宣布，他们同意生产统一型号的手机充电器，以减少资源的浪费和减轻消费者的负担。这一消息对于数量庞大的手机使用者来说是个不错的消息。现在，每家手机制造商所生产的手机，都有各自的充电器和充电接口，甚至是同一品牌不同型号的手机所使用的充电器也不一样，这样的设计使得消费者在更换手机的同时也要丢弃旧手机所配备的充电器，造成不必要的浪费。如果该计划成功实施，将会消除高达51000吨不必要的充电器。统一充电器后，手机配件成本将减少，人们在购买手机时，不需要再购买充电器，不过制造商的收入将会因此而减少一些。

意法半导体推出 全新手机内部保护芯片ESDA8V2-1MX2

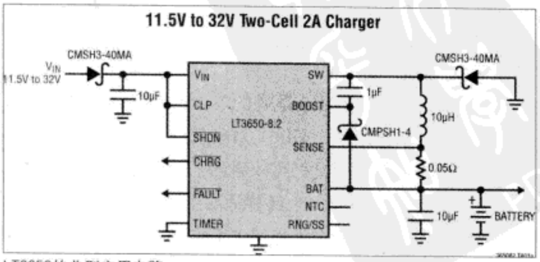


ESDA8V2-1MX2的封装和功能图

为支持通用手机充电器，意法半导体推出全新手机内部保护芯片ESDA8V2-1MX2，其占位面积仅为1.0mm×1.45mm，而对电源浪涌的吸收能力达到峰值脉冲能量500W，该芯片的另一个优点是具有极低的泄漏电流，这样可以降低电池电量消耗，延长充电间隔。相信不久的将来，爱好者就能在自己的通用手机充电器里看到此类高性能的保护芯片了。

凌力尔特公司推出 新款单片高压电池充电器芯片LT3650-8.2

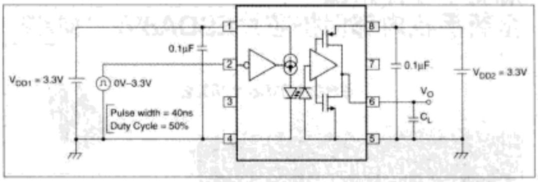
凌力尔特公司推出新款面向2节两节锂离子电池充电的单片高压电池充电器芯片LT3650-8.2。此芯片的宽电压范围为9～32V，可编程充电电流高达2A，具有安全定时和*C*/10 检测二种终止充电方式，还具有失效电池检测、NTC电阻器温度监视等功能。此芯片的典型应用电路十分简洁，爱好者可以用它来方便地自制充电器。



LT3650的典型应用电路

飞兆半导体公司新推出 具有出色抗噪性能的光电耦合器FOD8001

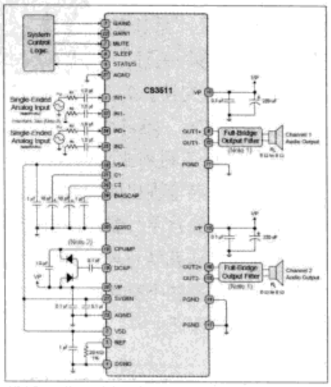
飞兆半导体公司推出一款具有出色抗噪性能的光电耦合器FOD8001，能够满足工业现场总线网络的需求，可在更长的时间段确保低传输错误率、低系统故障率和高可靠性。FOD8001具有出色的高带宽(25Mbps) 和严格的脉宽失真性能(6ns)，能满足汽车技术现场总线通信及其他总线通信的工业标准要求。它具有3~5.5V的宽电源电压范围，能够容易地与低压设备接口，降低总体系统功耗。热衷小型雕刻机DIY的电子爱好者可以利用它的高速性能和出色的抗干扰性能制作性能优良的驱动与控制器之间的接口电路。



FOD8001测试电路

Cirrus公司推出 CS3511音频功率放大芯片

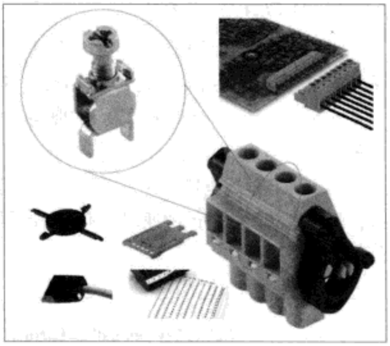
Cirrus公司推出CS3511音频功率放大芯片，它是2×11W的高性能立体声D类PWM放大器，集成了过流、过压和超温保护以及误差报告功能。CS3511采用闭环架构,真正扩展频谱调制,系统级的动态范围为99dB,通路隔离度为-96dB,单电源12V工作，而且它的体积很小。它的输出有2×11W，外围电路也十分简单，很适合爱好者制作小型的家用音频功率放大器，其他性能指标也可以满足一般爱好者的听音要求。



CS3511典型应用框图

Weidmuller公司推出新型PC板插头连接器

Weidmuller公司推出BLZP系列5.00mm和5.08mmPC板插头连接器，具有线保护功能，可防止在夹紧过程中防插错线。该连接器提供可选的释放手柄和通用夹紧螺钉，出厂附带夹具。有标准配置的2~24柱，有多种颜色可以选择，可外挂多种附件，有90°/180°/270°/225°多种角度选择。从官方的说明文档可以看到，此连接器质量和性能都是非常不错的，但是一个两柱插头的单价就需要1美元的高昂价格，恐怕较难为个人爱好者所接受了，不过对厂商用户却是很好的选择。



BLZP系列连接器及附件

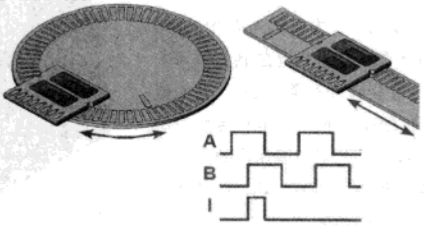
安捷伦新品—— U1253A 手持式数字万用表

安捷伦科技公司推出U1253A 手持式数字万用表，这是世界上第一款使用有机发光二极管（OLED）显示器手持式数字万用表。OLED 提供2000:1的对比度，160°的观察视角，流畅的字体和“大显示”模式，水晶般清晰的显示效果，无论是现场使用，还是在工作台上的使用，不必倾斜该数字万用表即可清晰正确地查看读数，相比传统的LCD显示有了质的飞跃。该产品主要指标包括 4.5位分辨率，满度为50000 计数的双显示，基本精度为 0.025%。除基本数字万用表功能外，U1253A具备的能力还包括温度测量，自动数据记录。相信不久的将来，各位爱好者也会拥有使用OLED的电子测量设备，因为这已开始成为趋势。

U1253A的屏幕显示效果

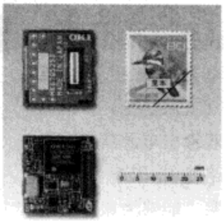
POSIC推出微型感应编码器套件IT3401

POSIC推出微型感应编码器套件IT3401，可以应用于线性和旋转等控制领域。该套件尺寸为11mm×11mm，厚度为0.9mm，为正交和标识信号提供A和B信号，用作机械参考。线性/旋转目标是采用不同的长度或直径的0.6mm厚度带状或圆盘。线性分辨率范围从速度为0.5m/s的0.3μm到速度为50m/s的15μm。旋转分辨率取决于圆盘直径。该套件可应用于有刷和无刷电机、音圈激励器和线性驱动器的机电一体化和运动控制系统。



OKI推出小型指纹识别模块MK67Q5250

OKI开始批量生产小型指纹识别模块MK67Q5250，该模块将指纹传感器和指纹识别处理用芯片等指纹识别所需的所有零件集成于一张邮票大小的印制电路板上。指纹传感器为AuthenTec 公司制造，内置闪存中可注册指纹数15个。该模块还支持多种通信接口，只需本模块就能实现指纹数据的注册、识别和注册数据的管理等，便于将指纹识别系统装备到任何系统上。



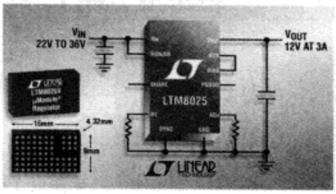
NJR发布高清化LCD控制驱动器NJU6645

新日本无线（NJR）发布一款高清化LCD控制驱动器NJU6645，这款驱动器可以减轻商务电话、家庭音频设备上的液晶显示器控制用CPU的负担。NJU6645把以往外置汉字ROM放到模块内，CPU与汉字ROM之间没有数据传输，只要在CPU与NJU6645之间输入简单的汉字字符代码，汉字就会显示出来，减轻了控制LCD的 CPU的负担，无需外部ROM。该产品拥有96C×256点阵【16位6行×(16×16点阵/文字)】的显示能力，非常适用于商务电话、家庭音响设备以及各种需要汉字LCD显示的应用。

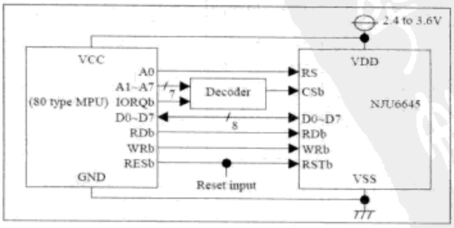
Vishay推出两款新型128× 32 LED图形显示屏

Vishay推出两款带有驱动电路和+5V HCCMOS电平视频接口的新型128× 32 LED图形显示屏LEE-128G032B和LEE-128G032-1。这两款LED显示屏为使用者提供了亮红(LEE-128G032B)或霓橙(LEE-128G032-1)两种可供选择的颜色，同时还具有高亮度性能和出众的视觉特性。它们具有大于30:1的高对比度，可视角度大于150°，寿命是等离子显示屏的4～5倍，可减少维护和更换成本。显示屏的可视面积为323.85mm×80.01mm。该产品针对中低级别的信息量进行了优化，适用于各种小量信息显示的应用场合。

凌力尔特推出微型稳压器模块系统LTM8025



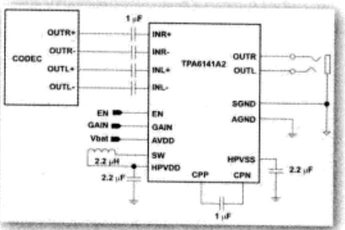
凌力尔特公司推出 3A 高压 DC/DC 微型稳压器模块系统 LTM8025，该系统具有高达 36V 的输入电压和 24V 的输出电压。24V 输出电压范围非常适用于 12~20V 中间总线系统，在 24V 和 28V 系统中 36V 输入提供充足的输入保护。LTM8025 是一个完整的 DC/DC 解决方案，含有一个 DC/DC 控制器 IC、电源开关、电感器、补偿电路以及输入和输出旁路电容器。该模块采用模制塑料 9mm×15mm×4.32mm LGA (焊盘网格阵列) 表面贴装封装，重量不到1.8g。由于高输入和输出电压额定值，LTM8025 非常适用于诸如 24V 工业电子、28V 医疗和航空电子以及 12V 通信系统等。



典型连接电路

德州仪器推出2款G类立体声耳机放大器

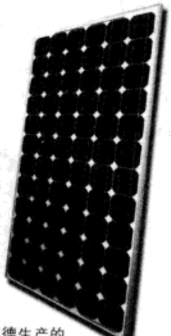
德州仪器推出2款DirectPathTM的G类立体声耳机放大器，其功率为25mW，型号分别为TPA6140A2 和TPA6141A2。这2款放大器使用了TI的G类技术，比其他使用AB类技术的放大器功耗可以降低30%，从而使便携设备电池继航时间更长。TPA6140A2 与 TPA6141A2 还采用了内置杂音抑制电路，可完全消除放大器加电时令人不安的杂音噪声，100 dB 的电源抑制比和配合差动输入，可进一步提高噪声抑制水平，实现清澈的音频效果。而且该放大器还可通过32 步进 I^2C 音量控制进行编程。爱好者可以用这2款芯片制作低能耗、高音质的便携设备里的耳机放大器，如小型FM收音机。



TPA6140A2典型应用电路

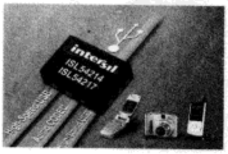
尚德太阳能电力开始量产单晶硅和多晶硅太阳能电池单元

尚德太阳能电力宣布将开始量产转换效率为18.8%的单晶硅太阳能电池单元和17.2%的多晶硅太阳能电池单元。这些新品将采用尚德的Pluto技术，不仅降低了电池单元表面的光反射，在阳光不直接照射的时段亦能集光，还使用新的布线方式，从而扩大了受光面积，提升转换效率。尚德还将强化Pluto技术的开发，力争在今后2年内，在太阳能电池单元的转换效率方面，使单晶硅型达到20%、多晶硅型达到18%。使用这样的转换效率的太阳能电池还可以满足国家财政补助条件，相信过不多久我们的身边随处可见太阳能电池了。



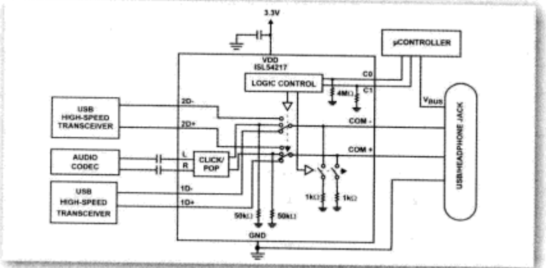
尚德生产的光伏电池组

Intersil发布紧凑型单刀三掷开关集成IC



Intersil发布两款紧凑型单刀三掷开关集成IC——ISL54214和ISL54217，可消除手持设备中连接器过于拥塞的状况。ISL54214采用低工作电压，可让两个USB收发器与音频通道共用引脚，从而可在媒体播放器和其他电池供电的便携式设备中共用 USB或音频耳机连接器。

ISL54217还加入了Intersil完善的“咔嗒”声消除电路，消除了音频杂音，增强了手持产品的性能。对于终端用户来说，意味着手持设备的接口可以更加集成化，且性价比更高。



ISL54217典型应用电路

PI发布音频放大器电源参考设计套件（RDK-203）

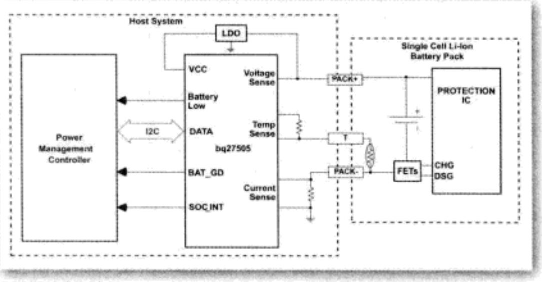
Power Integrations公司推出全新参考设计套件（RDK-203），这款双输出电源具有高环路宽带和高峰值功率，能够为家庭影院系统提供最高650W的额定音频功率。

参考设计套件RDK-203

RDK-203基于Power Integrations的PeakSwitch系列器件PKS607YN设计而成。采用PeakSwitch电源的音频放大器,其响应时间可达40ms，足以胜任高质量数字音乐和DVD电影播放中常见的高峰值因数、高频率音频信号要求。PeakSwitch通过积极管理音频放大器所需的功率输出，可有效防止功率轨电压在持续高能量时段发生下降，并且无需大容量的输出电容。从而确保将因放大器电压下降产生的信号截角或动态范围压缩造成的音频失真降至最低。独立的输出调节可避免正电源与负电源之间产生任何耦合，进一步降低失真并提高音频质量。RDK电路在240 Vrms输入时所消耗的功率不足0.9W。PI新推出的PeakSwitch参考设计，可让开发者使用开关电源设计出性能卓越的音频放大器。

德州仪器推出新款单体电池电量监测 IC

德州仪器推出新款采用 Impedance Track™ 技术的单体电池电量监测 IC，型号为BQ27505，尺寸仅为2.5mm×2mm×0.625mm。这款基于 CPU 的 IC 可针对剩余电量、可用时长、电压、电流以及温度等进行报告，计算所有条件下的剩余电量，提供完整的电池健康状况信息，以确保系统能够高效管理电池，并实现超长运行时间。该芯片可准确计算所有条件下的运行时间，并使电池组内部无需采用额外电路。由此可见，越来越多的技术革新使便携式设备的电池寿命越来越长了。



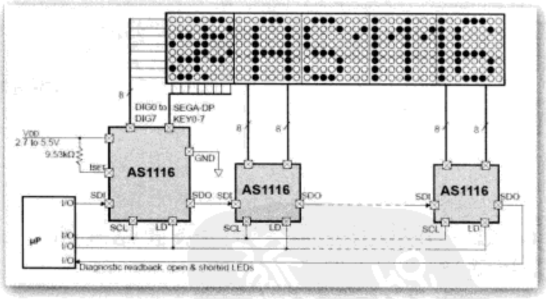
BQ27505典型电路

奥地利微电子推出超小型8×8矩阵显示LED驱动器

奥地利微电子公司推出超小型8×8矩阵显示LED驱动器，型号为AS1116。AS1116的工作电压为2.7~5.5V，工作时最低仅需0.6mA供电电流，而关断模式下仅为200nA。AS1116能以每数字位47mA电流来驱动8个7段数字位，或以每个LED 5.5mA驱动64个独立LED。该驱动器可以通过一个外置电阻来设定电流。AS1116具有±3%的精度，能使各模块之间的亮度差异降至最小，还采用了一个4位PWM来实现全局亮度控制和16位独立调光，提升了LED显示器的画质。此外，AS1116还具有独特的LED错误检测功能，启用该功能后，用户软件接口可以方便地得知LED阵列中任何开路和短路故障的确切位置。AS1116驱动单个8×8阵列时，外部电路只需要外接一个电阻和电容，加之4mm×4mm的TQFN封装，从而使所需电路板尺寸减至最小。

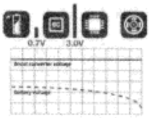
爱好者可以选用AS1116更易于焊接操作的QSQP封装来制作LED点阵应用电路，像网上近期被电子爱好者所乐于制作的3208电子钟，如果使用4个AS1116，则可以使整个制作更小巧，显示质量更高，功能更多，而且编程也变得更加容易和高效。

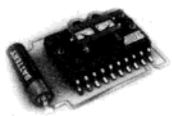
3208电子钟



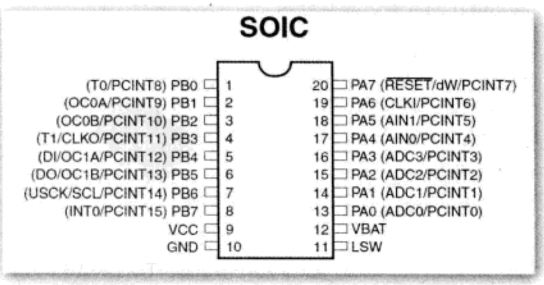
AS1116多路复用时的典型电路

Atmel推出全新的tinyAVR®微控制器系列





Atmel推出全新的tinyAVR®微控制器系列，首款芯片型号为ATtiny43U。这款芯片主要针对单电池系统的应用，如使用AA、AAA或纽扣电池的应用系统。它具有4K字节闪存、64字节系统内编程EEPROM及256字节的系统内存，标准工作电压为1.8～5V，具有独特的片上升压电路，当电池电压下降到0.7～1.8V时，芯片可以通过升压电路使其继续正常工作。ATtiny43U还具有10位ADC、2个带有PWM输出的8位定时计数器、SPI、I2C接口、内置温度传感器。对于AVR单片机爱好者来说，这是一个很好的消息，可以使电路设计使用更少的电池或电路体积缩得更加小巧。



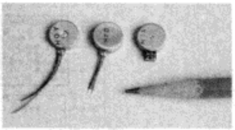
ATtiny43U引脚定义

NEC电子杯全国大学生电子设计竞赛9月开赛

NEC电子全资子公司日电电子（中国）有限公司宣布，独家赞助由中国教育部高等教育司与工业和信息化部人事教育司主办的电子设计竞赛。该竞赛定于2009年9月2~5日在北京举行。参赛者3人为1队每队需在开赛当日从给出的10类设计题目中选取一个，在4天3夜的赛程内完成并提交作品。今年的比赛是第9届，预计将有850所高校、3万名学生参赛。

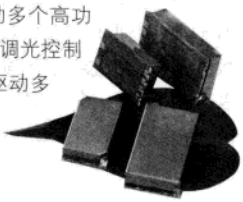
NIDEC COPAL公司推出新型微型振动电机系列

NIDEC COPAL公司推出微型有刷和无刷的振动电机系列，其中直径10mm 的硬币型直流无刷电机LBV10系列有3.4mm、3mm、2.35mm厚，电压为直流3V。这些振动电机主要应用在许多重要医疗机械中，包括胰岛素泵和嵌入式除颤。更大一些LAV10、LAV11系列主要应用于包括力反馈系统、手持游戏机和有更高负载要求的其他领域。这些电机在3V仅需24 mA电流，适合应用于小电流消耗的地方。



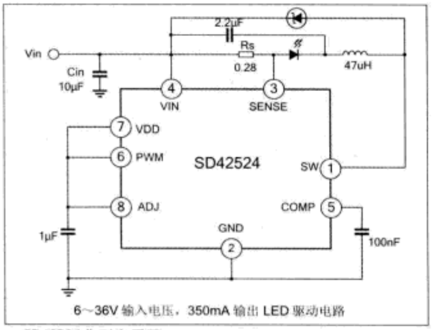
JKL公司推出应用于LED表面贴装的驱动器

JKL公司推出应用于LED表面贴装的LD-300A 和LD-600A驱动器，具有小占位面积和高效率的特点。LD-300A的大小为10mm×16mm×4.2mm，输出电流限制为300mA；LD-600A的大小为12mm×20mm×5.5mm，输出电流限制为600mA。此驱动器能够驱动多个高功率、高亮度发光二极管，具备有调光控制的PWM能力，如LD-600A能够驱动多达6个1W的LED，爱好者可以用它制作背景和照明用光设备。



士兰微电子推出大功率LED驱动芯片SD42524

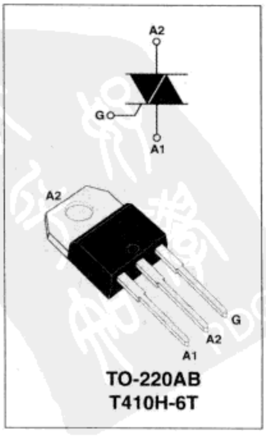
杭州士兰微电子推出SD42524大功率LED驱动芯片，此芯片是降压型、PWM控制、功率开关内置的LED驱动芯片。在6~36V输入电压范围内，输出电流能达到1A。内置温度保护电路、限流电路、PWM调光电路。SD42524采用电流模式控制，电流模式能提供快速的瞬态响应，环路稳定性设计简单。SD42524效率高，可达96%以上，可以用作MR16 LED射灯、LED建筑物照明、LED路灯等。



SD42524典型应用图

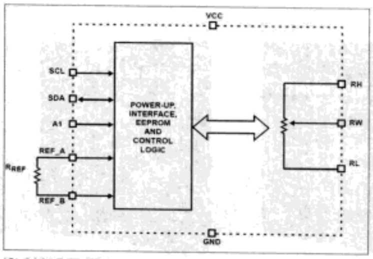
意法半导体（ST）推出新型双向晶闸管

意法半导体（ST）推出首款栅灵敏度10mA、额定工作温度高达150℃的双向晶闸管。通过节省散热器、栅驱动电源和缓冲电路，新产品可以让设计者为加热器、电机、小家电等开发低成本的电源驱动解决方案。全新产品T410H、T610H、T810H和T1010H的最大额定电流分别为4A、6A、8A和10A。10mA的低栅电流让双向晶闸管可直接进行逻辑级开关操作。这个优点可减少元器件的数量，降低电源的尺寸和成本。新双向晶闸管最适合控制交流负载，如电加热器、电磁炉、中等功率电机以及其他小家电。在正常工作温度下，它们的性能优于最大额定结温125℃的同类产品。4款产品的最大额定电压均为600V，可以在市电供电系统中可靠地工作。

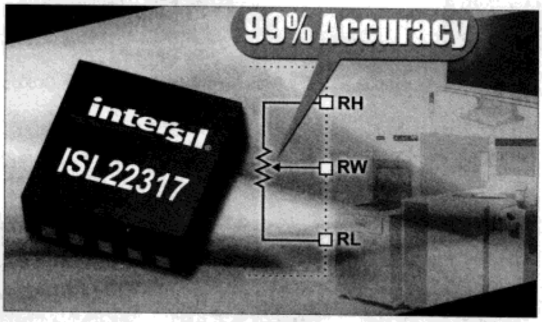


Intersil公司推出新款高精度数字控制电位器ISL22317

Intersil公司推出业界首款具有小于1%典型电阻容差的低电压、高精度数字控制电位器——ISL22317。超低容差使ISL22317可以用作真正的可变电阻。该器件采用易用的I^2C接口来编程设定精确的电阻，设定值可在集成的EEPROM存储器中反复设定100万次以上。对于那些需要特殊电流和电阻值的应用来说，例如测试测量电路、医疗设备、背光控制或在模拟电路中校准特殊电阻，ISL22317都是一个很好的选择。

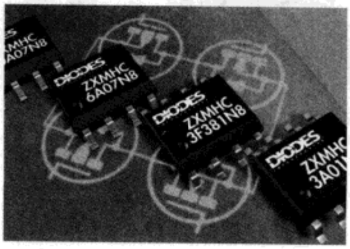


ISL22317原理图



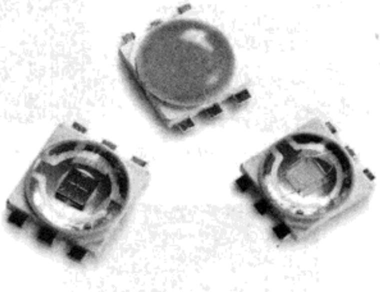
Diodes公司推出新型MOSFET半桥器件

Diodes公司推出MOSFET半桥器件，其中ZXMHC3A01N8和ZXMHC3F381N8两款30V半桥器件适用于12V直流风扇和逆变器应用，60V额定电压的ZXMHC6A07N8和100V额定电压的ZXMHC10A07N8半桥器件分别适用于24V直流和48V直流电机控制电路，优化直流风扇及逆变器设计。这种半桥封装设计为空间受限的应用减少了元件数量和PCB尺寸。



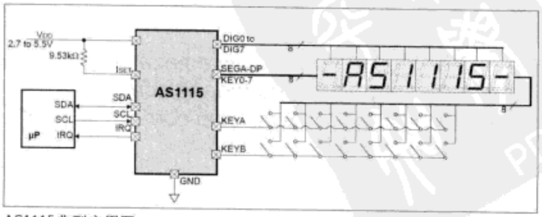
安华新推3W大功率LED——ASMT-Jx3x

安华高科技发布了SOP封装尺寸小至5.0mm×4.0mm×1.85mm的3W大功率LED-ASMT-Jx3x。最大输入电流高达700mA，白光产品光通量最大为160lm，最大视野角为140°～165°。通过优化光学设计，实现了较高的热电流及驱动电流。由于缩小了产品尺寸，该产品可用于安装面积有限制的便携式照明、路灯及显示器的背景灯等。



奥地利微电子推出简单易用的LED驱动器AS1115

奥地利微电子推出简单易用的LED驱动器AS1115。AS1115整合了显示驱动和键盘扫描功能，实现了完整的面板解决方案，省去μP或其他逻辑电路及分立器件。AS1115既能以每个数字47mA的电流驱动8个7段数字，又能以每颗LED 5mA的电流驱动64颗独立LED。外部电阻可轻松调整电流。无论是全局数字亮度控制或是每个数字的独立调光，均采用4位PWM机制。另外，AS1115还提供多达16键的回读功能，还具有一项独特的功能，即内置LED错误检测，所有的设置通过片内的I^2C总线操作，从而实现了单芯片用户界面解决方案。



AS1115典型应用图

人民邮电出版社《高保真音响》杂志社 高保真音响 www.hi-fi.com.cn

联合全球著名传媒图书出版社Focal Press 2009巨献

Media TECHNOLOGY 传媒典藏

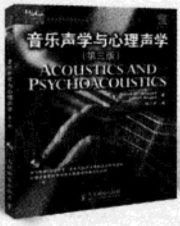
倾听大师的声音

音频技术与录音艺术

书号：20848 定价：45元

书号：20920 定价：68元

书号：20087 定价：78元



书号：21677

书号：21641

书号：19359 定价：180元

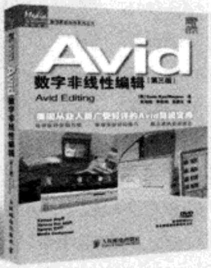
书号：19148 定价：48元

书号：19039 定价：58元

书号：18556 定价：180元

影视制作与导演制片

书号：19122 定价：28元



书号：20953 定价：80元

新媒体经营与法律

书号：20094
定价：72元

书号：21287
定价：65元

书号：21457
定价：45元

书号：19279
定价：70元

书号：19400
定价：68元

书号：20547
定价：45元

网上购买

卓越亚马逊网上书店：http://www.amazon.cn
当当网上书店：http://book.dangdang.com
互动出版网：http://www.china-pub.com

邮购方式

邮购热线：010-67129212
汇款地址：北京市崇文区夕照寺街14号A座
《高保真音响》杂志社（100061）

人民邮电出版社 POSTS & TELECOM PRESS

地址：北京市崇文区夕照寺街14号A座
邮编：100061
咨询电话：010-67132837